# andbuch der Physiologischen Optik.

# Handbuch

der

# hysiologischen Optik

von


**H. von Helmholtz.**


Zweite umgearbeitete Auflage.

Mit 254 Abbildungen im Text und 8 Tafeln.


Hamburg und Leipzig.
Verlag von Leopold Voss.
1896.










Druck der Verlagsanstalt und Druckerei Actien-Gesellschaft
(vormals J. F. Richter) in Hamburg.

# Vorrede zur ersten Auflage.

Die erste Abtheilung des vorliegenden Handbuches ist schon im Jahre 1856 [illegible]schienen, die zweite 1860, die dritte theils Anfang, theils Ende 1866. Die [illegible] Verzögerung der Herausgabe des letzten Theils war theils durch äufsere [illegible]ründe, zweimaligen Wechsel des Wohnortes und Wirkungskreises, sich [illegible]schendrängende andere wissenschaftliche Arbeiten, theils durch innere [illegible] veranlafst. Die Lehre von den Gesichtswahrnehmungen ist gerade im [illegible] der letzten Jahre sehr vielfältig bearbeitet worden, und hat eben an[illegible] ihren reichen Inhalt und das tiefgreifende Interesse, was sie besitzt, [illegible]. Es könnte billiger Weise auch jetzt noch einem Zweifel unter[illegible] es schon möglich ist, mit einiger Aussicht auf Erfolg einen, wenn [illegible] vorläufigen, Abschlufs eines so jungen und gleichsam noch gährenden [illegible] der Wissenschaft geben zu wollen, wie es doch der allgemeine Plan [illegible] Buches und der Encyklopädie, zu der es gehört, erfordert.* Andererseits [illegible] der eigenthümlichen Natur dieses Gebiets ein schneller Fortschritt zu [illegible] Beantwortung der noch offenen Fragen nicht gerade zu er[illegible]. Theils ist dasselbe eng verflochten mit den schwierigsten psycholo[illegible] Problemen, theils ist die Zahl der Beobachter gering, die es fördern [illegible], da immer eine lange Uebung in der Beobachtung subjectiver Erschei[illegible] und in Beherrschung der Augenbewegungen vorhergehen mufs, ehe

* [illegible]e erste Auflage erschien als Band IX der *Allgemeinen Encyklopädie der Physik*, [illegible]gegeben von Gustav Karsten. (A. K.)

man auch nur sieht, was die Vorgänger schon gesehen haben, und Mancher, der diese Uebungen nicht vorsichtig genug anstellt, schon dann genöthigt ist, eine sorgfältige Schonung seiner Augen eintreten zu lassen. Dazu kommt, dafs gerade hier, wo psychische Processe eingreifen, auch der Spielraum der individuellen Abweichungen viel gröfser zu sein scheint, als in anderen Gebieten der Physiologie.

Dennoch mufste am Ende der Versuch gemacht werden, Ordnung und Zusammenhang in dieses Gebiet hineinzubringen und es von den auffälligen Widersprüchen zu befreien, die sich bis jetzt durch dasselbe hinzogen. Ich habe dies gethan in der Ueberzeugung, dafs Ordnung und Zusammenhang, selbst wenn sie auf ein unhaltbares Princip gegründet sein sollten, besser sind als Widersprüche und Zusammenhanglosigkeit. Ich habe deshalb das Prinzip der empiristischen Theorie, wie ich es im 26. und 33. Paragraphen auseinandergesetzt habe, und von dem ich mich immer mehr überzeugt habe, je länger ich arbeitete, dafs es das einzige ist, welches ohne Widersprüche durch das Labyrinth der gegenwärtig bekannten Thatsachen hindurchführt, zum Leitfaden genommen. Es sind mir auf diesem Wege schon andere Forscher vorangegangen, deren Arbeiten, vielleicht wegen einer der materialistischen Neigung der Zeit entsprechenden Vorliebe zu unmittelbar mechanischen Erklärungen, im Ganzen nicht den Beifall gefunden haben, den sie wohl verdient hätten. Der Grund davon kann darin gelegen haben, dafs diese meine Vorgänger immer nur einzelne Kapitel der Lehre von den Gesichtswahrnehmungen bearbeitet haben, und hier eigentlich nur der Zusammenhang des Ganzen der Ansicht, in welcher er gewonnen wird, überzeugende Kraft verschaffen kann. Ich habe mich deshalb bemüht, diesen Zusammenhang vollständig zu entwickeln.

Den Uebelständen, welche durch die Verzögerung der Herausgabe des Ganzen für die ersten beiden Abtheilungen entstanden sind, habe ich dadurch abzuhelfen gesucht, dafs ich in einem Nachtrage die neuere Literatur zusammengestellt und kurz wenigstens die wichtigsten der seit Herausgabe jener Abtheilungen neu gefundenen Thatsachen besprochen habe. Glücklicher Weise befinden sich unter diesen keine, welche eine wesentliche Veränderung der aufgestellten Schlüsse und Ansichten bedingt hätte.

# Vorrede zur zweiten Auflage.

---

Da die ältere Ausgabe dieses Buches seit Jahren aus dem Buchhan verschwunden war, und doch noch immer wieder verlangt wurde, habe mich entschlossen, eine neue Ausgabe zu bearbeiten. Diese konnte ni wohl ein unveränderter, beziehlich nur von Druckfehlern und andern V sehen gereinigter Abdruck der ersten Ausgabe sein, da die grofse Me von Arbeiten, die seit dem Erscheinen des Werks in der Ophthalmolo durchgeführt sind, doch eine grofse Menge theils gewichtiger Bestätigung und Sicherungen der damals aufgestellten Sätze, theils Verbesserungen u genauere Bestimmungen gebracht haben. Auch glaube ich jetzt die früh Darstellung an manchen wichtigen Stellen einfacher oder deutlicher mac zu können.

Andrerseits fand ich es unmöglich, in absehbarer Zeit die neue A gabe vollständig nach denselben Grundsätzen durchzuarbeiten, nach de ich es bei der früheren gethan habe. Damals hatte ich es mir zur Pfli gemacht, alle wesentlichen Punkte durch eigene Beobachtungen und V suche zu prüfen, beziehlich zu begründen. Ich habe also einen mittle Weg einschlagen müssen. Ich habe aus der neueren Litteratur möglic berücksichtigt, was mir einen wesentlichen Fortschritt, oder eine wünsche werte Sicherung, beziehlich Widerlegung meiner früheren Ergebnisse u

behandeln. Das hatte eine gewisse Ungleichmäfsigkeit zur Folge, die im Inte der abgerundeten, auch der entgegengesetzten Anschauung völlig gerecht werde Darstellung zu bedauern ist, aber sowohl gegenüber der grofsen wissenschaftli Bedeutung des Buches im Ganzen als auch der Ideenfülle des Neuhinzugekomm verschwindet.

Nach dem Erscheinen der achten Lieferung (bis S. 640) betrac H. v. Helmholtz seine Arbeit für diese Auflage im Wesentlichen als bee Er wollte alles Folgende fast unverändert aus der ersten Auflage überneh vielleicht nur einige mathematische Ausführungen fortlassen, insbesondere s die schon in seinen „Wissenschaftlichen Abhandlungen" enthalten waren. Als derartige Auslassung hatte er bereits (in Anm. 1 auf S. 640) die Ablei des Drehungsgesetzes der Augen aus dem Prinzipe der leichtesten Orientie (S. 497—516 der ersten Aufl.) bezeichnet. Die Revision des weiteren Te hatte er selbst noch bis zu dem Beginn des Abschnittes „allgemeine geometri Betrachtung der Drehungen" auf S. 645 vorgenommen, als am 12. Juli 1 eine schwere Erkrankung aller weiteren Thätigkeit ein Ende setzte. Nach sei Tode habe ich dann in Übereinstimmung mit den Erben und der Verlagsbuchhand die Fortführung des Werkes übernommen.

Wenn ich auch gewifs bin, dafs der Verstorbene bei wirklicher Inangriffna der Arbeit, ebenso wie es bisher stets der Fall gewesen war, doch gröfsere Ä rungen und Einschaltungen gemacht haben würde, als er sie vorher beabsicht so hielt ich mich trotzdem nicht für berechtigt, meine Aufgabe jetzt anders jener Absicht entsprechend durchzuführen. Weitere Auslassungen als die angegebene konnte ich nicht vornehmen, da er keine bestimmte Äufserung dar gemacht hatte; ich weifs nur, dafs sie u. a. die Theorie des Horopters betr sollten. Abgesehen von kleinen Änderungen (Umstellung der Figuren, Berichti der Zeitangaben u. s. w.) habe ich daher den Text der ersten Auflage un ändert gelassen. Nur auf S. 799 ist eine Einschaltung (über die Tape bilder) gemacht, deren Wortlaut einer im Jahre 1878 von dem Verstorb veröffentlichten kleinen Abhandlung (Verhandlungen der physiologischen Gesells zu Berlin, 10. Mai 1878, S. 57—58. — Abgedruckt in du Bois-Reymond's Ar Jahrg. 1878, S. 322—324 und H. von Helmholtz, Wissenschaftliche Abhandlun Bd. II. S. 497—500) entnommen ist. Da ich weifs, dafs der Verfasser Werth die hier mitgetheilte Beobachtung legte, so bedarf ihre Aufnahme keiner besond Rechtfertigung.

Von den beigegebenen Tafeln wurde Taf. I noch zu Lebzeiten des Verfa ausgegeben. Taf. II hat ihm nur im Probeabzug vorgelegen. Fig. 1 dieser ist nach einer von Hrn. Prof. W. Uhthoff hergestellten Zeichnung ausge worden, für welche H. v. Helmholtz ihm an dieser Stelle seinen Dank ausspre wollte. Ich bin gewifs, im Sinne des Verstorbenen zu handeln, wenn ich von d

# Verzeichnifs einiger Abkürzungen,

welche in den ältern Citaten gebraucht sind.

---

**Bei den aus der neueren Litteratur gemachten Citaten hat sich leider kein einheitliches Verfahren bei den Abkürzungen durchführen lassen.**

---

**Der Band des betreffenden Werkes ist jedes Mal mit römischer Ziffer, die Seite mit arabischer bezeichnet; wo eine Zeitschrift mehrere Serien von Bänden umfafst, ist die arabische Nummer der Serie, eingeklammert (....), der römischen Zahl des Bandes vorausgesetzt worden.**

---

1. Bericht über die zur Bekanntmachung geeigneten Verhandlungen der Königl. Preuss. Akademie der Wissenschaften zu Berlin. — *Berl. Monatsber.*
2. Abhandlungen der mathematisch-physikalischen Klasse der Königl. Bair. Akademie der Wissenschaften. — *Abh. d. Münch. Ak.*
3. Abhandlungen der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. — *Abh. d. Kön. Ges. zu Göttingen.*
4. Göttingische gelehrte Anzeigen unter Aufsicht der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften. — *Götting. gel. Anz.*
5. Abhandlungen der Leipziger Akademie. *Abh. d. Sächs. Ges. d. Wiss.*
6. Berichte der Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. — *Leipz. Ber.*
7. Annalen der Physik und Chemie, herausgegeben von J. C. Poggendorff. — *Pogg. Ann.*
8. Journal für reine und angewandte Mathematik, herausgegeben von A. L. Crelle. — *Crelle's J.*
9. Notizen aus dem Gebiete der Natur- und Heilkunde, herausgegeben von Froriep und Schleiden. — *Fror. Not.*
10. Polytechnisches Journal, herausgegeben von J. G. Dingler und E. M. Dingler. — *Dingler's pol. J.*
11. *Archives des sciences physiques et naturelles par* de la Rive, Marignac *et* Pictet. — *Arch. d. sc. ph. et nat.* oder *Arch. de* Genève.
12. *Philosophical transactions of the Royal Society of London.* — *Phil. Trans.*
13. *Transaction of the Royal Society of Edinburgh.* — *Edinb. Trans.*
14. *Proceedings of the .... meeting of the British Association.* — *Rep. of Brit. Assoc.*
15. *The London, Edinburgh and Dublin philosophical Magazine and Journal of science, conducted by* Brewster, Taylor, Phillipps, Kane. — *Phil. Mag.*
16. *The Edinburgh new philosophical Journal, cond. by* R. Jameson. — *Edinb. J.*
17. *The American Journal of science and arts, cond. by* Silliman, B. Silliman *and* Dana. — *Sillim. J.*
18. *Mémoires présentés à l'Académie Royale de Bruxelles.* — *Mém. de Brux.*
19. *Bulletin de l'Académie Royale des sciences et belles lettres de Bruxelles.* — *Bull. de Brux.*
20. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Academie des Sciences de Paris.* — *C. R.*
21. *L'Institut, journal universel des sciences et des sociétés savantes en France et à l'étranger.* — *Inst.*
22. *Mémoires de l'Académie des Sciences à Paris.* — *Mém. de Paris.*

23. *Mémoires des savants étrangers, présentés à l'Académie des Sciences à Paris.* — ***Mém. d. Sav. étr.***
24. *Annales de chimie et de physique par MM.* Gay-Lussac, Arago, Chevreul, Dumas, Pelouze, Boussingault *et* Regnault. — ***Ann. de ch. et de ph.***
25. *Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie nationale.* — ***Bull. de la Soc. d'enc.***
26. *Bulletin de la classe physico-mathématique de l'Académie impériale des Sciences de St. Pétersbourg.* — ***Bull. de St. Pét.***
27. *Mémoires présentés à l'Académie impériale de St. Pétersbourg.* — ***Mém. de Pétersb.***
28. **Archiv für Ophthalmologie, herausgegeben von F. Arlt, F. C. Donders und A. v. Graefe.** — ***Arch. f. Ophthalm.***
29. **Sitzungsberichte der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse.** — ***Wien. Ber.***
30. *Cosmos, revue encyclopédique hebdomadaire des progrès des Sciences, rédigée par* **Moigno. Paris.** — ***Cosmos.***
31. **Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde, herausgegeben von F. C. Donders und W. Berlin.** — ***Arch. f. d. holl. Beitr.***
32. **Nederlandsch Archief voor Genees. en Natuurkunde, uitgegeven door F. C. Donders en W. Koster.** — ***Nederl. Arch.***
33. **. . Jaarlijksch Verslag betrekkelijk de verpleging en het onderwijs in het Nederlandsch Gasthuis voor Ooglijders.** — ***Jaarl. Versl. in het Nederl. Gasth.***
34. **Henle und Pfeuffer Zeitschrift für rationelle Medicin.** — ***Henle u. Pfeuffer Zeitschr.* oder *Zeitschr. f. rat. Med.***
35. **Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin, herausgegeben früher von J. Müller, jetzt von C. B. Reichert und E. du Bois-Reymond.** — ***J. Müller's Archiv* oder *Reichert und du Bois Archiv.***
36. **Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M.** — ***Jahresber. d. Frankf. Ver.***
37. *Athenaeum, journal of litterature, science and the fine arts.* — **Athen.**

# Inhaltsverzeichnifs.



## ANATOMISCHE BESCHREIBUNG DES AUGES.

## PHYSIOLOGISCHE OPTIK.



### Erster Abschnitt.

### Die Dioptrik des Auges.

## Zweiter Abschnitt.

## Die Lehre von den Gesichtsempfindungen.

## SACH- UND NAMENREGISTER.



## ÜBERSICHT ÜBER DIE PHYSIOLOGISCH-OPTISCHE LITTERATUR.

## § 1. Formen des Sehorgans im Allgemeinen. 1

Die Augen der Thiere unterscheiden:

entweder nur Hell und Dunkel. Dies ist wahrscheinlich bei den sogenannten Augenpunkten der niedersten Thierformen (Ringelwürmer, Eingeweidewürmer, Seesterne, Seeigel, Quallen, Infusionsthierchen) der Fall. Ein lichtempfindender Nerv, dessen peripherisches Ende dem Lichte zugänglich unter durchsichtigen Decken liegt, genügt zu diesem Zwecke. Das peripherische Ende des Nerven scheint meistens von verschiedenfarbigem Pigment umgeben zu sein, und verräth sich dadurch dem Beobachter. Doch wissen wir durchaus noch nicht, ob alle pigmentirten sogenannten Augenpunkte der niederen Thierformen wirklich zur Lichtempfindung dienen. Andrerseits müssen wir aus der Empfindlichkeit, welche niedere Thiere ohne Augenpunkte für das Licht zeigen, schliefsen, dafs auch lichtempfindende Nerven in durchsichtigen Thieren ohne Pigment vorkommen, die nur der Beobachter in keiner Weise als solche erkennen kann.

oder die Augen unterscheiden nicht blos Hell und Dunkel, sondern auch Gestalten. Um das zu können, mufs Licht, welches von gesonderten leuchtenden Punkten ausgeht, gesondert, d. h. mittels verschiedener Nervenfasern wahrgenommen werden. Es darf dann nicht mehr jede einzelne Nervenfaser von allen Seiten des Raums her Licht empfangen, sondern nur von einem beschränkten Theile des Raums. Jeder einzelnen Nervenfaser entspricht dann ein gewisses Gesichtsfeld, und es wird in der Wahrnehmung unterschieden werden können, in welchen dieser elementaren Gesichtsfelder leuchtende Körper liegen, in welchen nicht. Je kleiner das einzelne Gesichtsfeld ist und je gröfser ihre Gesammtzahl, desto kleinere Theile der uns umgebenden Körper können unterschieden werden, bis bei der höchsten Vollendung des Gesichtsorgans die einzelnen elementaren Gesichtsfelder gegen das Gesammtgesichtsfeld verschwindend klein werden. Für ein solches Organ können wir die Bedingung des deutlichen Sehens 2 aussprechen: Licht, welches von einem leuchtenden Punkte der Aufsenwelt kommt, darf nur auf einen Punkt der lichtempfindenden Nervenmasse (Netzhaut) fallen.

Die Scheidung des Lichts, welches von verschiedenen Seiten des Raums kommt, geschieht

entweder durch trichterförmig gestellte, undurchsichtige Scheidewände (zusammengesetzte Augen der Wirbellosen),

oder durch Brechung des Lichts an gekrümmten brechenden Flächen (einfache Augen der Wirbellosen und Augen der Wirbelthiere).

Die Trennung der Augen, welche nur Hell und Dunkel, und derer, welche die Gestalten wahrnehmen, ist keine scharfe. Schon bei den niedersten

Thierformen bewirken die Pigmentscheiden der lichtempfindenden Nervenfasern, dafs Licht nur von der freien Seite auf das Ende der Faser fallen kann, und mit Hülfe von Bewegungen seines Körpers wird ein Thier mit solchen Augenpunkten schon ermitteln können, von welcher Seite das meiste Licht kommt, ebenso wie der Mensch durch sein Hautgefühl die Richtung einstrahlender Wärme wahrnimmt, oder ein Kranker mit vollständig getrübter Krystallinse den Ort der Fenster eines Zimmers ermittelt. In dieser Beziehung haben die Pigmentscheiden der Augenpunkte offenbar einen sehr wesentlichen Nutzen. Wo, wie bei den Blutegeln und Planarien, vor der Nervensubstanz noch ein durchsichtiger kugeliger oder kegelförmiger Körper liegt, können schon verschiedene Theile der Netzhaut von dem aus verschiedenen Richtungen einfallenden Lichte verschieden stark getroffen werden. Von diesen findet ein allmählicher Fortschritt der Ausbildung statt durch die einfachen Augen der Crustaceen, Arachniden und Insecten, welche meist hinter der Hornhaut noch eine Linse und einen Glaskörper unterscheiden lassen, zu denen der Mollusken und namentlich der Cephalopoden, welche letztere denen der Wirbelthiere schon sehr ähnlich sehen. Da die mikroskopischen Elemente der thierischen Gewebe, namentlich auch die des Nervensystems, in allen Klassen ziemlich gleiche Gröfse besitzen, und die Genauigkeit des Sehens wesentlich zusammenhängt mit der Menge einzelner empfindender Elemente, die Zahl dieser aber nahehin proportional sein mufs der hinteren Oberfläche des Glaskörpers der einfachen Augen, so ist im Allgemeinen wohl anzunehmen, dafs die Genauigkeit des Sehens dieser Augen ihren linearen Dimensionen direct proportional ist.

3 Vom Auge des Menschen habe ich in *Fig. 1.* einen horizontalen Querdurchschnitt abgebildet in viermaliger Vergröfserung; das Auge der Wirbelthiere ist dem menschlichen im wesentlichen ähnlich gebaut. Diese Augen schliefsen folgende durchsichtige Theile ein:

1) die wässrige Feuchtigkeit in der vorderen Augenkammer *B*.
2) die Krystallinse *A*.
3) den Glaskörper *C*.

Umschlofsen sind diese Theile von drei in einander liegenden Systemen von Häuten.

1) System der Netzhaut *i* und *Zonula Zinnii e*, schliefst zunächst den Glaskörper ein und heftet sich vorn an die Linse *A*.

2) System der *Uvea*, besteht aus der durch einen stärkeren schwarzen Strich angedeuteten Aderhaut *(Chorioidea) g*, dem Ciliarkörper *h* und der Regenbogenhaut *(Iris) b*. Es umschliefst das vorige System mit der Linse und hat nur an der vorderen Seite vor der Linse eine Oeffnung, die Pupille.

3) Die feste Kapsel des Augapfels, welche in ihrem gröfseren hinteren Theile aus der undurchsichtigen weifsen Sehnenhaut *(Sclerotica)* und in dem kleineren vorderen aus der durchsichtigen knorpeligen Hornhaut *(Cornea)* gebildet wird. Am lebenden Auge sieht man zwischen den Augenlidern den vorderen Theil der Sehnenhaut (das Weifse) und hinter der durchsichtigen

hervorspringenden Hornhaut die braun- oder blaugefärbte ringförmige in deren Mitte die schwarze Pupille.

Eine Linie, welche durch den Mittelpunkt der Hornhaut und durch den telpunkt des ganzen Auges geht, nennt man die A x e d e s A u g e s, weil Auge wenigstens annähernd einem Rotationskörper mit dieser Axe ent- 4
cht. Eine darauf senkrechte Ebene, welche durch die gröfste Weite des apfels geht, nennt man dagegen die Ä q u a t o r i a l e b e n e.

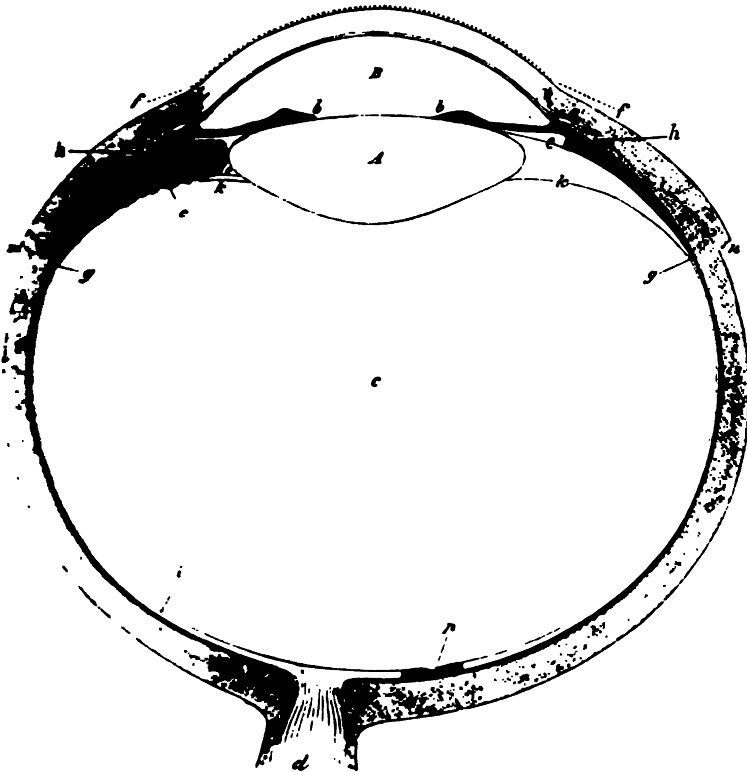



*Fig. 1.*

Ich werde im Folgenden eine Beschreibung der einzelnen Theile des Auges geben, dabei aber natürlich nur so weit in Einzelheiten gehen, als es für das Verständnifs der Functionen des Auges nothwendig ist.

## § 2. Sehnenhaut und Hornhaut.

Die S e h n e n h a u t des Auges (σκληρόν, *tunica albuginea, sclerotica, dura,* harte Haut) umschliefst den gröfseren Theil des Augapfels, bedingt seine Gestalt und schützt ihn vor äufseren Einwirkungen. Ihre äufsere Form weicht merklich von der einer Kugel ab; ihre hintere Seite ist nämlich abgeplattet, und im Äquator wird sie oben und unten, rechts und links durch

den Druck der geraden Augenmuskeln etwas eingedrückt, während sie sich zwischen diesen Stellen stärker hervorwölbt. Der gröfste Durchmesser lieg bei den meisten Individuen von der Nasenseite und oben nach der Schläfen seite und unten. Vorn nimmt die Sehnenhaut die stärker gewölbte Hornhau in sich auf, hinten und etwas nach der Nase herüber ist sie durchbohrt um den Sehnerven *(Nervus opticus) Fig. 1. d* eintreten zu lassen, und geh hier in dessen sehnigen Überzug über. Die Sehnenhaut ist hinten un vorn dicker als in dem Äquator des Auges, wie dies die Figur zeigt. Di vordere Verdickung wird dadurch bedingt, dafs die Sehnen der Augen muskeln sich an die Sehnenhaut anlegen und mit ihr verschmelzen. Bei *i* ist der Ansatzpunkt des inneren, bei *n* der des äufseren geraden Augenmuskel

Das Gewebe der Sehnenhaut ist Sehnengewebe; es ist weifs, wen durchscheinend, biegsam, fast unausdehnbar. Seiner chemischen Beschaffen heit nach gehört es zu den leimgebenden Stoffen. Mikroskopisch besteh es aus einem äufserst dichten und straffen Geflechte von Bindegewebfasern welche meist der Oberfläche parallel verlaufen, und daher eine unvollkommen Spaltbarkeit der Haut in Lamellen zulassen. Dazwischen liegt, wie i anderen Sehnen, ein Netzwerk äufserst feiner elastischer Fasern, welche a den Stellen, wo sich ursprünglich ihre Bildungszellen befanden, Verdickunge mit Kernrudimenten zeigen.

5 Die **Hornhaut** ist vorn in die Sehnenhaut eingesetzt, und hat im Al gemeinen die Form eines stark gekrümmten Uhrglases. Ihre vordere Fläch schliefst sich ziemlich nahe einem Abschnitte eines Rotationsellipsoides a welches um seine längere Axe gedreht ist. Das Ende dieser Axe liegt in de Mittelpunkte der Hornhaut. Die Form der hinteren Fläche ist nicht sicher b kannt. Bei Erwachsenen ist die Hornhaut in der Mitte etwas dünner als am Rand

Die Hornhaut besteht aus folgenden Schichten von aufsen nach inne

1) Ein **Epithelium**, aus geschichteten Zellen von Hornsubsta gebildet (Pflasterepithelium), in *Fig. 1* angedeutet durch die gebroche Linie *f f*. Es setzt sich auf die Bindehaut der Augenlider fort. Die vorde Fläche dieses Epitheliums wird durch die fortdauernd zufliefsende Thräne feuchtigkeit feucht und glatt erhalten.

2) Die **faserige Schicht** der Hornhaut (*Substantia propria corneae*) i die mächtigste von allen, in der Figur weifs gelassen. Sie gehört nach ihr chemischen Zusammensetzung den Knorpeln an, indem sie beim Koch Chondrin giebt. Sie besteht aus einem ähnlichen Gewebe von Fasern, w die Sehnenhaut, nur sind die Fasern zu platten Bündeln vereinigt, der Fläche der Oberfläche der Hornhaut parallel läuft, daher auch die Hornha sich unvollkommen in Schichten trennen läfst. Beim Erwachsenen enth die Hornhaut keine blutführenden Gefäfse, wohl aber zwischen den Fase bündeln ein System verästelter kernhaltiger Zellen, wie sie als unentwickelt elastisches Gewebe in den meisten bindegewebigen Organen sich finden, u wahrscheinlich unterhalten diese den zur Ernährung der Hornhaut nöthig Austausch von Flüssigkeiten durch die Substanz hin. Die Substanz d

aut erscheint bei der gewöhnlichen Beleuchtung vollkommen durchsichtig. ntrirt man aber viel Licht durch eine Sammellinse auf einen Punkt Hornhaut, so erscheint sie trüb, indem nun das von den Grenzflächen mikroskopischen Elemente zurückgeworfene Licht reichlich genug wird, wahrgenommen zu werden.

) Die DESCEMET'sche Haut sserhaut, glasartige Lae der Hornhaut, auch *Mem-Demoursii)* ist eine structe, durchsichtige, brüchige ran von 0,007 mm bis 0,015 mm . Wenn man sie von der haut trennt, rollt sie sich auf. chliefst sich durch ihre Resigegen kochendes Wasser, n und Alkalien dem elastischen be an. Auf ihrer der wässrigen tigkeit zugewendeten Fläche sie eine Schicht grofser polyer Epithelialzellen, welche in *1* durch die Doppellinie auf inneren Seite der Hornhaut deutet ist.

Die Grenzfläche zwischen Hornund Sehnenhaut ist nicht recht gegen die Oberfläche Augapfels, sondern aufsen die Sehnenhaut, innen die haut weiter über. Auf der en Fläche ist die Grenze der haut ein ziemlich regelmäfsiger . von aufsen erscheint die haut dagegen queroval, weil und unten die Sehnenhaut mehr übergreift als an den . Die Fasern der Hornhaut n an dieser Grenze unmittelbar e der Sehnenhaut über.

Eigenthümlich verhält sich gen die DESCEMET'sche Haut er Grenze der Hornhaut. In

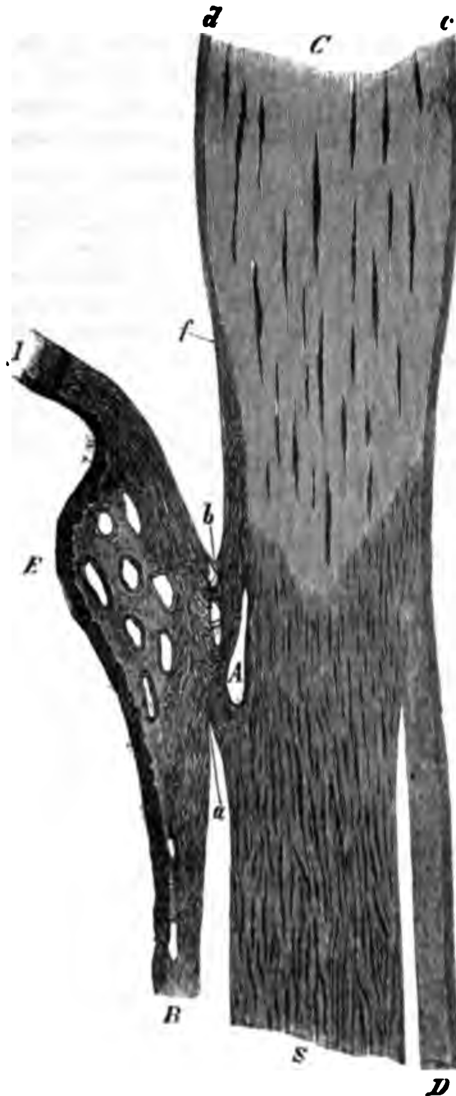



Fig. 2.

2 ist ein stark vergröfserter Querschnitt dieser Gegend dargestellt. n ist *S* die Sehnenhaut, *C* die Hornhaut, *c* ihr äufseres Epithelium, *G* es auf die Bindehaut *D* übergeht, *d* die DESCEMET'sche Haut. Von *f*

ab entspringt zwischen dieser und der Substanz der Hornhaut ein Netzwerk elastischer Fasern, während die DESCEMET'sche Haut selbst mit einem zugeschärften Rande zu enden scheint. Indem sich die Schicht elastischer Fasern von der Sehnenhaut trennt, und weiter hinten sich an eine Lamelle derselben ansetzt, entsteht hier an der Grenze zwischen Sehnenhaut und Hornhaut ein ringförmiger Kanal, der SCHLEMM'sche Kanal (*a* in *Fig. 1* und *A* in *Fig. 2*). Nach aufsen ist derselbe von der Sehnenhaut begrenzt, seine innere Wand besteht dagegen vorn aus elastischem Gewebe, hinten aus Sehnengewebe. An dieser inneren Wand sind die muskulösen Theile der Uvea befestigt. Der genannte Kanal scheint Blut zu führen.

Die Messungen der Dimensionen des Auges sind für die physiologische Optik von der gröfsten Wichtigkeit, aber meist mit vielen Schwierigkeiten verbunden, weil die Gestalt des ganzen Augapfels und seiner einzelnen Theile einmal bei verschiedenen Augen aufserordentlich verschieden ist, und zweitens nach dem Tode den mannigfachsten Veränderungen unterliegt. Die individuellen Verschiedenheiten sind so grofs, dass man Mittelwerthe aus Beobachtungen verschiedener Augen nur mit grofser Vorsicht anwenden darf. Wo es auf genaue und sichere Resultate ankommt, müssen alle wichtigeren Gröfsen durchaus an demselben Auge gemessen sein.

Was zunächst die äufsere Form des Augapfels anlangt, so hängt dieselbe vom Druck der Flüssigkeiten ab, die er einschliefst. Unmittelbar nach dem Tode entleert sich ein grofser Theil seiner Blutgefäfse, wobei sich der Druck natürlich verringert; dann vermindert sich allmälich die innere Flüssigkeitsmenge auf endosmotischem Wege noch mehr, so dafs der Augapfel schlaff wird, und die Häute, namentlich die Hornhaut, sich falten. Messungen über die Form des Augapfels müssen daher entweder an sehr frischen Augen angestellt werden, oder man mufs, wie BRÜCKE[1], den Druck künstlich wiederherstellen, indem man durch den Sehnerven eine Canüle einstöfst und diese mit einer senkrechten, eine Wassersäule von etwa 0,4 m enthaltenden Röhre in Verbindung bringt. Diese Methode genügt, um die verschiedenen Durchmesser des Augapfels zu messen. Aber für eines der wichtigsten optischen Elemente des Auges, die Hornhautkrümmung, genügt es nicht den Druck nur annähernd herzustellen. Der Krümmungsradius des Scheitels der Hornhaut wird, wie ich durch eine unten beschriebene Messungsmethode gefunden habe, desto gröfser, je gröfser der Druck. Der Grund hiervon ist wohl darin zu suchen, dafs eine membranöse Hülle, welche Flüssigkeit umschliesst, sich desto mehr der Form einer Kugel nähern mufs, je gröfser der Druck der Flüssigkeit ist, weil die Kugel unter den Körpern mit gleich grofser Oberfläche das gröfste Volumen hat. Wenn dies beim Auge eintritt, wird namentlich die einspringende Rinne zwischen Hornhaut und Sehnenhaut herausgedrängt werden müssen, und dadurch die Hornhaut weniger gewölbt werden.

Unter diesen Umständen ist es offenbar ein wesentliches Bedürfnifs, dafs so viel als möglich alle wichtigeren Gröfsenverhältnisse des Augapfels an lebenden Augen bestimmt werden.

Die älteren Messungen des Auges sind meist nur mit dem Zirkel ausgeführt. C. KRAUSE, welcher ein sehr ausgedehntes System von Messungen durchgeführt hat, hat zuerst die äufseren Dimensionen des Auges mit dem Zirkel abgemessen; dann hat er die Augen, nachdem er sich die Schnittlinie vorher bezeichnet hatte, halbirt, und zwar Hornhaut, Iris und Linse durch einen Schnitt des Rasirmessers, die Sehnenhaut mit der Scheere, die Hälften dann in ein Schälchen voll Eiweifslösung gelegt, so dafs die Schnittfläche sich dicht unter der Oberfläche der Flüssigkeit befand. So mafs er die Dimensionen des Querschnitts, theils mit dem Zirkel, theils mit einem gegitterten Glasmikrometer in

---

[1] E. BRÜCKE, *Anat. Beschreibung des menschl. Augapfels.* Berlin 1847. S. 4.

[illegible] eines schwach vergröfsernden Mikroskops, theils mit einem quadratischen Draht-[illegible], welches auf die Oberfläche der Flüssigkeit gelegt wurde. Er hatte vielfach Ge-[illegible]heit sehr frische Augen anzuwenden; bei diesen können die äufseren Messungen 7
[illegible] Sclerotica als hinreichend zuverlässig angesehen werden, die Wölbung der Hornhaut, [illegible] Gröfse vom Drucke der Flüssigkeiten abhängt, ist aber wohl an den durchschnittenen [illegible] beträchtlich verändert gewesen.

Ich gebe hier Krause's Tafel für die Form von 8 Augäpfeln.[1] Es ist Nr. I von [illegible] 30jährigen ertrunkenen Manne, Nr. II das rechte Auge eines 60jährigen Mannes, [illegible] einen Schnitt in den Hals getödtet, Nr. III und IV das linke und rechte Auge [illegible] 40jährigen Mannes, erhängt, Nr. V und VI das linke und rechte Auge eines [illegible]jährigen, Nr. VII und VIII dieselben eines 21jährigen Mannes, die beiden letzten mit [illegible] Schwerte hingerichtet. Die Maafse sind in Pariser Linien angegeben.

| Nr | Axe des Auges | | Durchmesser | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | transversal. | senkrechter | | diagonaler | | |
| | | | | | | grofser | | kleiner |
| | äufsere | innere | | äufserer | innerer | äufserer | innerer | |
| I | 10,9 | 9,85 | 10,9 | 10,8 | 9,9 | 11,25 | 10,3 | |
| II. | 11,05 | 10,0 | | 10,3 | 9,4 | 11,1 | 10,2 | 11,05 |
| III. | 10,7 | 9,8 | 10,7 | 10,5 | 9,6 | 11 | 10,2 | 10,6 |
| IV | 10,5 | 9,5 | 10,6 | 10,3 | 9,5 | 10,9 | 10,1 | 10,7 |
| V. | 10,8 | 9,55 | 10,9 | 10,55 | 9,6 | 11,3 | 10,35 | 11 |
| VI. | 10,8 | 9,55 | 11 | 10,6 | 9,45 | 11,3 | 10,2 | 11,1 |
| VII | 10,65 | 9,4 | 10,75 | 10,3 | 9,45 | 10,75 | 9,6 | 10,75 |
| VIII. | 10,65 | 9,45 | 10,75 | 10,3 | 9,15 | 10,9 | 9,75 | 10, 7 |

Brücke hat Messungen an Augen angestellt, welche durch einen Wasserdruck von [illegible]meter gespannt waren, und giebt an, dafs die Axe des Augapfels zwischen 23 und [illegible] mm betrage, der gröfste horizontale Durchmesser zwischen 22,8 und 26 mm, der [illegible] verticale zwischen 21,5 und 25 mm.

[1] Krause vergleicht die innere Wölbung der Sclerotica mit der Fläche eines [illegible]ellipsoides; die Axen, welche er berechnet hat, und seine Angaben über Dicke [illegible] Hornhaut und Sclerotica an verschiedenen Stellen führe ich hier noch an.

| Nr | Dicke der Sehnenhaut | | | Halbe Axen des Ellipsoides der inneren Wölbung | | Dicke der Hornhaut | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | in der Augenaxe | am Äquator. | am vorderen Rande | grofse | kleine | Mitte | Rand |
| I | 0,55 | 0,45 | 0,35 | 5,12 | 4,45 | 0,4 | 0,5 |
| II | 0,5 | 0,35 | | 5,05 | 4,15 | 0,35 | 0,5 |
| III | 0,45 | 0,4 | 0,35 | 5,12 | 4,23 | 0,4 | 0,5 |
| IV. | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 5,07 | 4,41 | 0,4 | 0,45 |
| V | 0,65 | 0,4 | 0,3 | 5,14 | 4,58 | 0,5 | 0,55 |
| VI. | 0,65 | 0,5 | 0,3 | 5,05 | 4,43 | 0,48 | 0,55 |
| VII. | 0,55 | 0,5 | 0,4 | 5,05 | 4,41 | 0,53 | 0,63 |
| VIII | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 4,93 | 4,19 | 0,5 | 0,62 |

Zusammenstellungen von Messungen s. in Zehender, *Anleitung zum Studium der Dioptrik des menschlichen Auges.* Erlangen 1856. und Merkel, *Makroskopische Anatomie des Auges.* (Graefe und Saemisch [illegible]) Leipzig 1874 Bd. I. Th. 1.) S. 44.

Die Messungen von C. KRAUSE über die Form der Hornhaut übergehe i weil deren Methode für ein so wichtiges Element nicht zuverlässig genug erschei bemerke nur, daſs er die vordere Wölbung der Hornhaut für eine Kugelfläche, di für den Scheitel eines Rotationsparaboloides erklärt. Betreffs der Dicke fand einigen Hornhäuten, die ich untersuchte, daſs die Dicke in den mittleren zwei des Querschnitts fast constant war, und erst gegen den Rand hin schnell zunahm in der Mitte die Krümmungskreise der beiden Flächen nahe concentrisch zu sein s

8 R. H. KOHLRAUSCH hat an lebenden Augen den Krümmungsradius der H dadurch zu messen gesucht, daſs er die Gröſse der Spiegelbilder auf der Horn stimmte. Der, dessen Auge untersucht werden sollte, saſs auf einem sehr massive mit hoher Lehne. Sein Kopf wurde durch eine besondere Vorrichtung gehalten, es ihm leicht wurde, vollkommen ruhig zu sitzen. Er fixirt einen kleinen weiſse der auf dem Mittelpunkte des Objectivs eines auf 2 bis 3 Fuſs Entfernung zu geb den KEPLER'schen Fernrohrs angebracht ist. Das Fernrohr ist auf das Auge g und zwar so, daſs der besagte weiſse Punkt in derselben Horizontalebene mit de punkte der Hornhaut liegt. In dem Brennpunkte des Oculars sind zwei Sp parallel gespannt, welche, ohne ihren Parallelismus zu verlieren, durch Sc bewegung einander genähert werden können. Auf jeder Seite, wieder in d Horizontalebene, steht ein Licht, dessen Schein durch eine runde Öffnung i kleinen Schirme auf das Auge fällt und von diesem reflectirt wird, so daſs im F zwei kleine Bilder der leuchtenden Punkte erscheinen. Nachdem die Spinnf diese genau gerichtet sind, wird an die Stelle des Auges ein wohlgetheilter Maaſs bracht, und auf diesem die Entfernung der spiegelnden Stellen der Hornhaut a Aus dieser Entfernung, aus dem Abstande des Auges von den Öffnungen in d schirmen und dem Mittelpunkte des Objectivs, und endlich aus der Entfern letztgenannten Punkte von einander wurde der Radius der Hornhaut annäheru berechnet.

KOHLRAUSCH fand aus Messungen an 12 Augen im Mittel 3,495 Par. Lin. (7 als kleinsten Werth 3,35, als gröſsten 3,62, und berechnet den wahrscheinliche der einzelnen Bestimmungen auf 0,02.

SENFF hat nach einer ähnlichen, aber nicht genauer beschriebenen Meth bloſs die Krümmungshalbmesser, sondern auch die Ellipticität der Hornhaut und giebt folgende Resultate an:

| | Krümmungshalbmesser im Scheitel. | Quadrat der Excentricität. | Groſse Axe. | Kleine Axe. |
|---|---|---|---|---|
| Rechtes Auge. Vertical. | 7,796 | 0,1753 | 9,452 | 8,583 |
| Rechtes Auge. Horizontal. | 7,794 | 0,2531 | 10,435 | 9,019 |
| Linkes Auge. Vertical. | 7,746 | 0,4492 | 11,243 | 8,344 |

Den Winkel $\alpha$ nennt SENFF den Winkel zwischen dem Scheitel der Ellipse Endpunkte der Augenaxe. Jener liegt von diesem in den verticalen Durchschnit unten, in dem horizontalen nach aussen. Wahrscheinlich versteht SENFF hi Augenaxe dasselbe, was wir später als Gesichtslinie definiren werden.

Die gröſste Schwierigkeit bei diesen Messungen ist die, das Auge und den Untersuchten gehörig zu befestigen. Bei einer jeden Messungsmethode der Bild man erst abzulesen hat, mit welchem Theilstriche der gewählten Scale der eine Hornhautbildes, und dann, mit welchem der andere zusammentrifft, wird jede Verschiebung des Kopfes zwischen den beiden Ablesungen zur Gröſse des Bild oder davon subtrahirt werden. Ich habe deshalb ein Meſsinstrument c welches diese und andere Messungen am Auge genau auszuführen erlaubt, ungest

kleinen Schwankungen des Kopfes, und es eben deshalb Ophthalmometer genannt, leich es auch zu einer grofsen Menge anderer Messungen, namentlich zu Messungen scher Bilder mit Vortheil anzuwenden ist. Wenn wir durch eine planparallele Glas-te, die wir schräg gegen die Gesichtslinie halten, nach einem Gegenstande blicken, n wir diesen in seiner natürlichen Gröfse, aber um ein wenig seitlich verschoben, l diese Verschiebung ist desto gröfser, je kleiner der Winkel zwischen den Licht-hlen und den Flächen der Platte wird. Das Ophthalmometer ist im Wesentlichen ein rohr, zum Sehen auf kurze Distanzen eingerichtet, vor dessen Objectivglase neben nder zwei Glasplatten stehen, so dafs die eine Hälfte des Objectivglases durch die e, die andere durch die andere Platte sieht. Stehen beide Platten in einer gegen die e des Fernrohrs senkrechten Ebene, so erscheint nur ein Bild des betrachteten Objects,

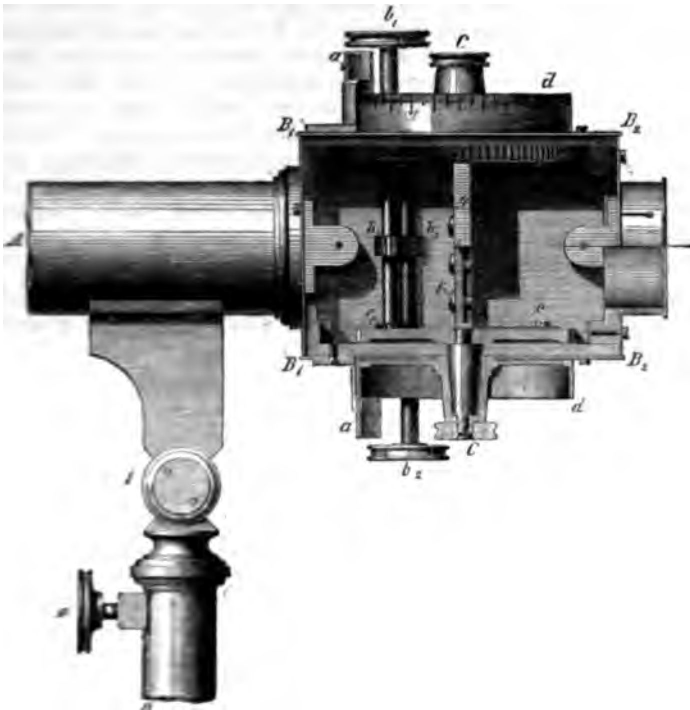



Fig. 3.

ht man aber beide Platten ein wenig und zwar nach entgegengesetzten Seiten, so 9
eht sich das einfache Bild in zwei Doppelbilder, deren Entfernung desto gröfser wird, gröfser der Drehungswinkel der Glasplatten. Diese Entfernung der Doppelbilder aber n aus den Winkeln, welche die Platten mit der Axe des Fernrohrs machen, be-hnet werden. Stellt man die beiden Doppelbilder einer zu messenden Linie so auf ander ein, dafs sie sich gerade mit ihren Enden berühren, so ist die Länge der Linie ch der Entfernung der beiden Doppelbilder von einander und wie diese zu berechnen.

Das Instrument ist in *Fig.* 3 in einer verticalen Ansicht gezeichnet, in *Fig.* 4 in em horizontalen Durchschnitte, in halber natürlicher Gröfse. Der viereckige Kasten $B$, $B_1$ $B_2$, welcher die ablenkenden Glasplatten enthält, ist am vorderen Ende des rnrohrs $A$ befestigt. In *Fig* 3 ist die vordere Wand des Kastens weggenommen, und erdem sind alle Theile der unteren Hälfte in der Mittelebene durchschnitten gedacht. e Grundlage des Kastens bildet ein starker viereckiger Rahmen, den man in *Fig.* 3

rings um den Kasten laufen sieht; an diesen sind dünne Messingplatten als Wä festigt, wie namentlich in *Fig. 4* sichtbar ist. In der Mitte der horizontalen Th Rahmens sind conische Durchbohrungen vorhanden, in denen die Drehungsaxen beiden Gläser laufen. Jede der Axen trägt aufserhalb des Kastens eine Scheibe *d* cylindrischer Umfang in Winkelgrade getheilt ist; bei *a* ist ein Nonius ang mittels dessen Zehntheile eines Grades abgelesen werden können. Innerhalb des trägt jede Axe zunächst ein Zahnrad *e e* und einen Metallrahmen *g*, in welch Glasplatte *f* befestigt ist. Der Rahmen jeder Platte hat aber nur drei Seiten, anderen Glasplatte zugekehrte Seite desselben fehlt. Die beiden Glasplatten ursprünglich eine planparallele Platte. Für diese wurde ein vollständiger Metall gemacht und zwischen den Flächen der beiden Zahnräder befestigt, dann die A gedreht und endlich der Rahmen in der Mitte durchschnitten. Eben so wurde d durchschnitten, jede Hälfte in der entsprechenden Hälfte des Rahmens befest wurde eine genau übereinstimmende Stellung der Platten auf den beiden Axen e Bewegt werden die Zahnräder durch die Triebe $c_1$ und $c_2$, die an den Axen $b_1$ $b_2$ $c_2$ befestigt sind. Jede dieser Axen trägt aufserdem in ihrer Mitte einen Dreht man den Knopf bei $b_1$, so wird mittels des Triebes $c_1$ das untere Zahn der unteren Glasplatte bewegt. Aufserdem greift der Trieb $h_1$ in den Trieb $h_2$, un die zweite Axe $b_2$ $c_2$ um eben so viel in der entgegengesetzten Richtung. Infolg wirkt auch der Trieb $c_2$ auf das obere Zahnrad, und dreht dieses mit der ober platte um einen nahe eben so grofsen Winkel wie die untere Platte. Gemessen v Drehung jeder Platte mittels der aufserhalb des Kastens auf die Drehungsa gesetzten getheilten Scheiben.

Es ist nothwendig, zwei Platten anzubringen, welche um nahe gleiche Wi dreht werden, weil die Bilder der durch die Platten gesehenen Objecte nicht blofs verschoben, sondern auch ein wenig genähert werden, und wenn die Näherung beiden Bilder desselben Gegenstandes ungleich grofs ist, man das Fernrohr nicht zeitig auf beide genau einstellen kann.

In das vordere Ende des Fernrohrs sind zwei Objectivlinsen einzusetzen, *k* Die achromatische Doppellinse *k* allein wird gebraucht, wenn man entferntere zu betrachten hat. Ihre biconvexe Crownglaslinse wird wie gewöhnlich dem zugekehrt. Will man dagegen sehr nahe Objecte betrachten, so giebt eine einzeln kein gutes Bild mehr, weil diese Linsen darauf berechnet sind, parallel ein Strahlen in einen Punkt zu vereinigen. Deshalb setze ich dann eine zweite achron Doppellinse *l* ein, deren Crownglas der andern zugekehrt wird. Steht dann das Object im vorderen Brennpunkte dieser zweiten Linse, so macht sie die Strahlen parallel, die erste Linse vereinigt die parallelen Strahlen in ihrem hinteren Brennpunkte. Dadurch erhält man schärfere Bilder. Die Brennweite von *k* ist bei meinem Instrumente 6 Zoll, die von *l* 16 Zoll. Das Fernrohr ruht auf einer Säule *n*, in der ein Cylinder gedreht, so wie auch auf und ab bewegt werden kann. Auf diesem ist mittels des Charniergelenks *i* das Fernrohr befestigt. So kann man der Fernrohraxe beliebige Stellungen geben. Aufserdem ist auch der Kasten mit den Gläsern drehbar um das vordere Ende des Fernrohrs.

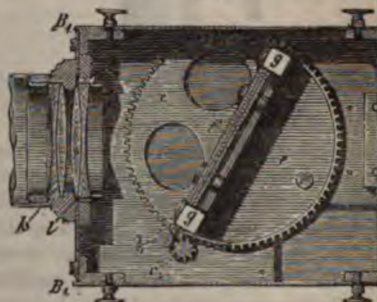


*Fig. 4.*

10 Zunächst will ich nachweisen, wie die Verschiebung der Bilder aus dem Dr winkel der Glasplatten zu finden ist.

Es sei in *Fig.* 5 $A_1$ $A_1$ $A_2$ $A_2$ eine der Glas-
n. $a_1$ $c_1$ der einfallende, $c_1$ $c_2$ der gebrochene,
der hindurchgegangene Strahl; $b_1$ $c_1$ $d_2$ das erste,
$d_1$ das zweite Einfallsloth. Der Einfallswinkel
$a_1$, welcher dem Winkel $b_2$ $c_2$ $a_2$ gleich ist,
mit $\alpha$, der Brechungswinkel $d_2$ $c_1$ $c_2$, welcher
ist mit $c_1$ $c_2$ $d_1$, mit $\beta$ bezeichnet und die
der Platte mit $h$. Wird der Strahl $a_2$ $c_2$ rück-
verlängert, so scheint der leuchtende Punkt $a_1$
in unterhalb der Platte befindliches Auge in
Verlängerung von $a_2$ $c_2$ zu liegen. Fällt man
$a_1$ ein Loth $a_1$ $f$, dessen Länge wir $x$ nennen
a. auf die genannte Verlängerung, so ist dies
scheinbare seitliche Verschiebung des leuch-
n Punktes. Es ist

$$x = c_1\,c_2 \,.\, \sin \angle\, c_1\,c_2\,f$$

$$c_1\,c_2 = \frac{h}{\cos\beta}$$

$$\angle\, c_1\,c_2\,f = \angle\, d_1\,c_2\,f - \angle\, d_1\,c_2\,c_1$$

$$= \alpha - \beta$$

$$x = h \,.\, \frac{\sin(\alpha-\beta)}{\cos\beta}\,.$$

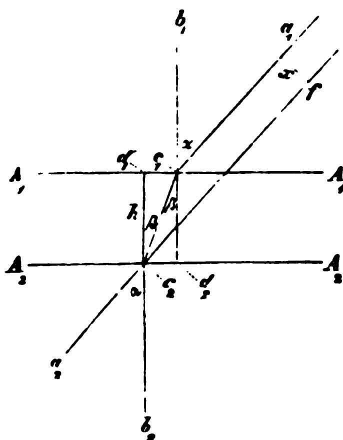


*Fig.* 5.

Winkel $\alpha$ wird durch das Instrument gemessen; die Dicke der Glasplatte $h$ mufs
nt sein, ebenso ihr Brechungsverhältnifs $n$ gegen Luft. Dann ist

$$\sin\alpha = n \,.\, \sin\beta.$$

Leser Gleichung ist $\beta$ zu finden, und dann sind alle Stücke zur Berechnung von $x$
t. Benutzt man zwei drehbare Platten, wie in dem Instrumente, welches ich be-
ien habe, geschieht, so ist die Entfernung $E$ zweier beobachteten Punkte, deren
was auf einander gestellt hat, doppelt so grofs als $x$, also

$$E = 2h \,.\, \frac{\sin(\alpha-\beta)}{\cos\beta} \quad\quad 1$$

Die Werthe von $n$ und $h$, die bei dieser Rechnung nöthig sind, findet man am $n$
rl. Ausmessung der Theile eines guten Millimetermaafsstabs mit dem Instrument.
t den Maafsstab horizontal in passender Entfernung vor dem Instrumente auf.
ht gegen die Axe des Fernrohrs gerichtet, und achtet darauf, dafs bei der Drehung
atten die Längskanten des Stabes genau in sich selbst verschoben werden. Am
sten, finde ich, sind die Doppelbilder so einzustellen, dafs die Theilstriche des einen
ischenräume des andern genau halbiren, so dafs die gegenseitige Verschiebung
der 0,5 oder 1,5 oder 2,5 u. s. w. Millimeter beträgt. Dann erscheint der Stab wie in
Millimeter eingetheilt, und man erkennt sehr sicher, ob die einzelnen Intervalle alle
, oder abwechselnd gröfser und kleiner sind. So bekommt man eine Reihe von
en des Winkels $\alpha$, die zu gegebenen Entfernungen $E$ gehören.
Seien $E$ und $E_1$ zwei verschiedene Werthe von $E$, $\alpha$ und $\alpha_1$ sowie $\beta$ und $\beta_1$ die
gehörigen Werthe der Winkel, so ergiebt Gleichung 1)

$$\frac{E_1}{E} = \frac{\sin(\alpha_1-\beta_1)\,.\,\cos\beta}{\sin(\alpha-\beta)\,.\,\cos\beta_1} = \varepsilon$$

$\varepsilon$ nur eine kürzere Bezeichnung für das Verhältnifs der beiden $E$ ist. Indem man
die der Differenzen auflöst, und $\sin\beta = \frac{1}{n}\,.\,\sin\alpha$ setzt, erhält man:

$$\sin\alpha_1 \,.\, \left[n \,.\, \cos\beta_1 - \cos\alpha_1\right] \,.\, \cos\beta = \varepsilon\,\sin\alpha \,.\, \left[n \,.\, \cos\beta - \cos\alpha\right] \,.\, \cos\beta_1\,,$$

$$n = \frac{\sin \alpha_1 \,.\, \cos \alpha_1 \,.\, \cos \beta - \varepsilon \,.\, \sin \alpha \,.\, \cos \alpha \,.\, \cos \beta_1}{\sin \alpha_1 \,.\, \cos \beta_1 \,.\, \cos \beta - \varepsilon \,.\, \sin \alpha \,.\, \cos \beta \,.\, \cos \beta_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1a$$

Auf der rechten Seite sind $\alpha$ und $\alpha_1$ bekannt, $\beta$ und $\beta_1$ allerdings nur bei Kenntnifs von $n$ zu berechnen. Da aber die beiden letzteren Winkel nicht grofs werden können sind ihre Cosinus nicht sehr weit von 1 unterschieden. Man findet $\cos \beta$ und $\cos \beta_1$ als schon mit sehr geringem Fehler, wenn man von einem angenähert richtigen Werthe von ausgeht, etwa 1,6. Dann kann man Gleichung 1a) benutzen, um einen genaueren Werth für zu finden, mit diesem wieder bessere Werthe von $\cos \beta$ und $\cos \beta_1$, u. s. f. Man fährt so fort, so lange die neu gefundenen Werthe des $n$ noch die Werthe von $\cos \beta$ und $\cos \beta$ merklich ändern. Gewöhnlich wird die zweite Berechnung von $n$ schon genügen.

*10* Dieselbe Stellung der Doppelbilder, welche bei einer Drehung um $\alpha$ Grade statt findet, tritt auch ein bei einer Drehung um $-\alpha$, um $180 - \alpha$ und um $\alpha - 180$ Grade Um Fehler der Theilung und des Parallelismus der Glasplatten zu eliminiren, ist es rathsam bei diesen vier Stellungen jede Messung zu wiederholen und aus den vier gefundenen Zahlen das Mittel zu nehmen.

Einer der wichtigsten Vortheile des Ophthalmometers ist, dafs die lineare Gröfse der scheinbaren Entfernung seiner Doppelbilder unabhängig ist von dem Abstande des Objects Man braucht also den letzteren nicht zu kennen, um die Messungen auszuführen Sollten indefs die Glasplatten schwach gekrümmte Oberflächen haben, so würde der Ab stand des Objects nicht einflufslos sein. Daraufhin ist jedes Ophthalmometer zu untersuchen

Wenn man das beschriebene Instrument zur Messung eines Hornhautbildes an wendet, wird man von kleinen Schwankungen des Kopfes des Beobachteten durchaus nicht gehindert, da beide Doppelbilder immer in derselben Weise sich mitbewegen, und ihre Stellung zu einander nicht geändert wird. Ist gleichzeitig das Object des Hornhaut bildes weit genug entfernt, dafs die kleinen Schwankungen des Kopfes gegen seine Ent fernung verschwinden, so wird auch die Gröfse des Bildes nicht merklich durch di Schwankungen verändert, und es genügt daher zur Befestigung des Kopfes, dafs man da Kinn leicht aufstützen lässt.

*11* Das Instrument erlaubt nur kleine Distanzen zu messen, bis zur Gröfse von etw 4 mm oder 2 Linien. Mittels des Nonius werden $^1/_{10}$ Grade abgelesen, welche im Durch schnitt etwa $^1/_{300}$ mm entsprechen. Mittels einer leichten Veränderung kann man e aber auch geschickt machen, gröfsere Entfernungen zu messen. Zu dem Ende setzt ma an Stelle des Deckels $C$ am vorderen Ende des Instruments eine Concavlinse ein, dere Brennpunkt so weit vor dem Instrumente liegt, als der vordere Brennpunkt der erste achromatischen Objectivlinse $m$. Bei dieser Veränderung mifst das Instrument die linear Gröfse der im Brennpunkt der Concavlinse entworfenen Bilder ferner Gegenstände. D diese Bilder stark verkleinert sind, so entsprechen ihre Dimensionen viel gröfseren de Gegenstandes. Entfernt man dann den gemessenen Gegenstand, bringt an seine Stell einen Maafsstab, und mifst dessen Theilstriche bei derselben Einrichtung des Instrument so erhält man die absolute Gröfse des Gegenstandes. Für sehr entfernte Gegenständ wirkt das Instrument dann dem Heliometer gleich: es mifst die Gesichtswinkel.

Die Gröfse der Drehung der zwei Platten eines Instruments differirt gewöhnlic um einige Zehntel eines Grades; zur Rechnung ist das Mittel beider Zahlen zu nehmen

Um eine gröfsere Genauigkeit zu erreichen, kommt viel darauf an, dafs man di Orte, deren Entfernung zu messen ist, passend durch die Erleuchtung markirt. Seh genau ist namentlich die Breite eines geraden hellen Streifens mit parallelen Ränder auf dunklem, oder eines eben solchen dunkeln auf hellem Grunde zu messen. Wen man die beiden Doppelbilder eines solchen Streifen zur Berührung bringt, zeichnet sic die kleinste Entfernung oder das kleinste Übereinandergreifen der Bilder durch eine fein schwarze oder helle Linie ab, für deren Wahrnehmung das Auge sehr empfindlich is bei genauer Berührung verschwindet die Grenze beider Bilder fast ganz. Oder ma kann auch den einen Ort durch einen feinen hellen Punkt, den andern durch zwei solcl einander sehr nahe stehende markiren, und nun das eine Bild des ersten genau in d

wischen die zwei anderen einstellen. Auf die grofse Genauigkeit, welche diese r Einstellung zuläfst, hat schon BESSEL bei der Messung der Sternparallaxen durch liometer aufmerksam gemacht.

**Venn wir das Ophthalmometer zur Messung der Hornhaut-mung anwenden wollen, so müssen wir auf der Hornhaut das gelbild eines äufseren Objects von bekannter Gröfse und Ent-ing erzeugen.** Die Gröfse dieses Spiegelbildes ist zunächst **h das Ophthalmometer zu messen.** Die Entfernung des gespiegel- Objects vom beobachteten Auge mufs so grofs sein, dafs die en Schwankungen in der Stellung dieses Organs dagegen ver-lässigt werden können.

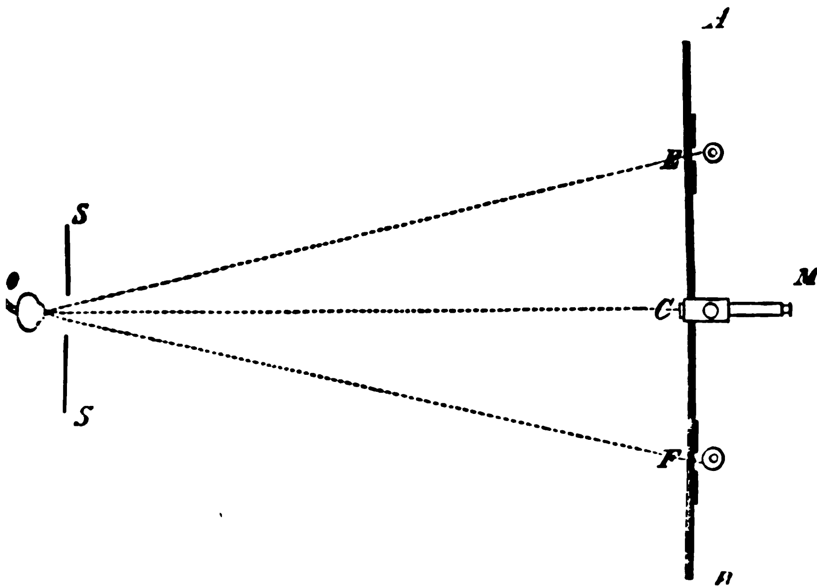



*Fig. 6.*

Die Anordnung des hierher gehörigen Apparates ist in *Fig. 6* im Grundrisse -ellt. Der Beobachtete sitzt an einem Tische; die Lage seines Auges ist so -thig dadurch gesichert, dafs er durch eine Öffnung von etwa 1 Zoll Durch- des vor ihm stehenden Pappschirms $SS$ zu blicken angewiesen ist. Das beobachtete -t in der Figur mit $O$ bezeichnet. Sechs bis acht Fufs davon entfernt, und etwa -driger als das Auge, ist ein in Centimeter getheilter Maafsstab $AB$ horizontal an-t. Den Fufspunkt $C$ des von $O$ auf $AB$ gefällten Lothes ermittelt man leicht h hinreichend genau, dafs man an die hintere Seite des Maafsstabes einen Glas- anlegt, dessen Ebene dabei also der Linie $AB$ parallel wird, und bemerkt, -chem Theilstriche $C$ des Maafsstabes das Auge $O$ sich selbst gespiegelt sieht. Nun man von $C$ aus nach beiden Seiten hin zwei gleiche Entfernungen $CE$ und $CF$ ungefähr gleich ¼ $OC$, und bringt an der Vorderseite des Maafsstabes Papp-n, von denen der eine eine runde Öffnung, der andere zwei solche übereinander Die beiden durch die Mittelpunkte dieser Öffnungen gehenden Verticallinien

müssen den Theilstrichen $E$ und $F$ entsprechen. Hinter den Schirmen werden Lampen angebracht, deren Licht durch die Öffnungen auf das Auge $O$ fällt. Die Linie $EF$, deren eines Ende somit durch einen lichten Punkt, das andere durch zwei bezeichnet wird, ist das Object, dessen Spiegelbild in der Hornhaut gemessen werden soll. Um nun noch die Stellung des Ophthalmometers $M$ zu bestimmen, bringt man an den Theilstrich $C$ einen durch ein Gewicht gespannten Faden, visirt an diesem vorbei nach der Mitte der Öffnung des Schirmes $S$, durch welche das Auge $O$ sieht, und läfst, so dafs sie vom Faden gedeckt wird, auf der Tischplatte eine Linie ziehen, auf welcher der Mittelpunkt des Fufses des Ophthalmometers sich befinden mufs. Hat man das Ophthalmometer fest aufgestellt, auf das Auge $O$ gerichtet, und für dasselbe eingestellt, so bemerkt man jede Verschiebung des Auges senkrecht gegen die Axe des Fernrohrs daran, dafs es im Gesichtsfelde die Mitte des Fadenkreuzes verläfst, und kann seine Stellung verbessern lassen. Aufserdem kann sich das Auge auch nicht viel in Richtung der Gesichtslinie des Beobachters nähern oder entfernen, ohne dafs sein Bild undeutlich wird. So ist die Stellung des Auges bis auf wenige Linien gesichert, und zugleich läfst sich die Stellung, welche es hatte, nach beendeter Beobachtung leicht ermitteln, indem man irgend einen Körper aufstellt, der in der Mitte des Gesichtsfeldes des Fernrohrs deutlich erscheint. Ein solcher mufs alsdann auch an dem früheren Orte des Auges stehen, und von ihm aus können die Entfernungen des Auges von der Scale und anderen Punkten mit Bequemlichkeit abgemessen werden.

Die Richtung des Auges kann sehr gut gesichert werden, wenn man ihm einen bestimmten Gesichtspunkt anweist, und indem man die Lage dieses Punktes ändert, kann man auch Drehungen des Auges um genau mefsbare Winkel hervorbringen.

Will man nur den **Krümmungsradius der Hornhaut für ihre Mitte** kennen lernen, so läfst man das Auge $O$ nach der Mittellinie des Ophthalmometers sehen, zu welchem Ende man in der vorderen Öffnung des Instruments ein Kreuz von zwei feinen weifsen Fäden anbringen kann. Bezeichnet man die Länge $EF$ mit $b$, die Gröfse ihres Spiegelbildchens in der Hornhaut mit $\beta$, und die Länge $CO$ mit $a$, so ist der Krümmungsradius $r$ jetzt nahehin:

$$r = \frac{2a \cdot \beta}{b}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

wenn man nämlich, sowohl $r$ gegen $a$, als auch den Unterschied der Tangente und des Sinus des Winkels $\frac{1}{2}$ $EOC$ vernachlässigt. Erlaubt man sich das letztere nicht, so ist die genauere Formel:

$$r = \frac{\beta}{2 \sin\left[\frac{1}{2} \operatorname{arc\,tang}\left(\frac{b}{2a}\right)\right]} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2a)$$

welcher letztere Werth von $r$ bei den oben angegebenen Dimensionen des Apparats etwa um $\frac{1}{2}$ Proc. von dem der ersten Formel abweicht.

Die Richtigkeit jener ersten abgekürzten Formel leuchtet leicht ein aus den bekannten katoptrischen Gesetzen. Die Brennweite eines convexen Spiegels ist gleich dem halben Radius, also $\frac{1}{2}\, r$. Das Bild eines weit entfernten Gegenstandes liegt nicht merklich vom Hauptbrennpunkte des Spiegels entfernt, und die Gröfse des Objects und seines Bildes verhalten sich zu einander wie ihre Entfernungen von der Kugelfläche. Also

$$b : \beta = a : \tfrac{1}{2}\, r,$$

woraus sich unmittelbar der angegebene Wert von $r$ ergiebt.

Kann man die Theile des Apparates ein für alle mal fest aufstellen, so ist die Messung der Hornhautkrümmungen verschiedener Augen aufserordentlich leicht und schnell zu vollziehen. Man braucht nur eine Beobachtung durch das Ophthalmometer: für den abgelesenen Winkel entnimmt man aus der Tabelle den Werth von $\beta$, und multiplicirt ihn mit dem constanten Factor

$$\frac{2a}{b} \text{ oder } \frac{1}{2 \sin\left[\frac{1}{2} \operatorname{arc\,tang}\left(\frac{b}{2a}\right)\right]}.$$

immer wird es natürlich, wenn man sich gleich eine Tabelle berechnet für die ...enen Winkelgraden entsprechenden Hornhautkrümmungen.

...ständlich ist die Bestimmung der Ellipticität der Hornhaut. Wenn ich, ... gethan hat, die äussere Hornhautfläche im Folgenden als ein Stück eines Ellipsoids ..., so möchte ich dies nur in dem Sinne thun, dafs jedes kürzere Stück einer ...lichen Curve im Allgemeinen viel näher durch einen elliptischen als durch einen ... ausgedrückt werden kann, und bei der Hornhaut der Ausdruck ihrer Form ... Ellipsoid vorläufig eine grofse Annäherung giebt. Auf einer Kugelfläche ist ...mmungsradius überall constant, auf einem Ellipsoid veränderlich. So ist er denn ... Rande der Hornhaut gröfser, als in ihrer Mitte. Kennt man die Werthe des ...ungsradius an verschiedenen Stellen eines Ellipsoids, so kann man daraus dessen ... Excentricität berechnen. Die Messung des Krümmungsradius an verschiedenen ...er Hornhaut kann ganz so ausgeführt werden, wie ich eben beschrieben habe. ...chtig ist die Methode allerdings nur für den Fall, dafs das gemessene Spiegel... verschwindend klein gegen den Krümmungsradius ist, was bei den gegebenen ...sen des Apparats eigentlich nicht der Fall ist. Indessen da die Abweichung ...en Scheitelabschnitts eines Ellipsoids, den die Hornhaut bildet, von einer Kugel ... gering ist, so ist die begangene Ungenauigkeit, wie ich mich überzeugt habe, ...em in Betracht kommenden Einflusse.

... Form der Hornhaut entspricht nahehin einem Ellipsoid, welches durch ...ung einer Ellipse um ihre gröfsere Axe erzeugt ist. Der Scheitel des ... entspricht, wie sich im folgenden zeigen wird, ungefähr der Mitte der ...t, weicht aber merklich von der Gesichtslinie ab, welche bei allen von ...ersuchten Individuen vom Scheitel aus nach der Nasenseite hin lag.

... Beobachtungen werden hierfür ganz so angestellt, wie ich es für die Bestimmung ...mungsradius der Hornhaut in der Gesichtslinie beschrieben habe, nur weist ... beobachteten Auge nach einander verschiedene Fixationspunkte an, und wieder... ... diese die Messung. Der erste Fixationspunkt möge wieder in der Axe des ... liegen, der zugehörige berechnete Werth des Krümmungsradius der Hornhaut ... Die beiden andern wähle man auf der Scale gleich weit nach rechts und nach ... dem Punkte $C$, in gleicher Höhe mit dem Lichtzeichen, etwa bei $A$ und $B$. ... Richtung der Gesichtslinie nach $A$ sei gefunden der Werth des Krümmungs... ... $B$ der Werth $\rho_2$. Nun folgt aus den geometrischen Eigenschaften der ... der Krümmungsradius $\rho$ eines beliebigen Punktes durch folgende Gleichung ... wenn $\omega$ den Winkel zwischen dem Krümmungsradius und der grofsen Axe, ... grofse Axe, $\epsilon$ die Excentricität d. h. Abstand der Brennpunkte, dividirt durch ... Axe bezeichnet

$$\rho = \frac{a(1-\epsilon^2)}{\sqrt{1-\epsilon^2 \sin^2 \omega}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

...unseren Versuchen mufs der Krümmungsradius der spiegelnden Stelle der Horn... ... der Axe des Fernrohrs parallel sein, weil die Mitte $C$ des gespiegelten ... in der Fernrohraxe liegt, und daher die spiegelnde Stelle senkrecht gegen ...rohraxe stehen mufs. Der Winkel $\omega$ zwischen dem Krümmungsradius und der ... Ellipsoids ist also derselbe, wie der zwischen der Axe des Fernrohrs und der ... Ellipsoids. Bei der ersten Beobachtung, wo die Gesichtslinie des beobachteten ... die Axe des Fernrohrs fällt, ist der Winkel $\omega$ gleich dem noch unbekannten ... zwischen der Gesichtslinie und der Axe des Ellipsoids, den wir $\alpha$ nennen und ...zeichnen wollen, wenn die Axe des Ellipsoids auf derselben Seite der Linie $CO$ ... der Punkt $A$, negativ, wenn sie auf der Seite von $B$ liegt. Bei der zweiten ...ung ist die Gesichtslinie nach $A$ gerichtet; und setzen wir

$$\angle EOC = \angle FOC = q\,,$$

... jetzt gleich $\alpha + q$. Wenn bei der dritten Beobachtung die Gesichtslinie nach

$B$ gekehrt ist, wird $\omega$ gleich $(\alpha - \varphi)$. Setzen wir also die drei Paare zusammengehörig Werte von $\varrho$ und $\omega$ in die Gleichung 3, so erhalten wir folgende drei Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} \varrho_0 &= \frac{a\,(1-\varepsilon^2)}{\sqrt{1-\varepsilon^2\,.\,sin^2\,\alpha}^{\,3}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \varrho_1 &= \frac{a\,(1-\varepsilon^2)}{\sqrt{1-\varepsilon^2\,.\,sin^2\,(\alpha+\varphi)}^{\,3}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \varrho_2 &= \frac{a\,(1-\varepsilon^2)}{\sqrt{1-\varepsilon^2\,.\,sin^2\,(\alpha-\varphi)}^{\,3}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\}$$

Aus diesen drei Gleichungen läfst sich zunächst $a$ eliminiren. Wenn man sie gleic zeitig auf die zweite Potenz erhebt, und die dritte Wurzel auszieht, bekommt man folgend zwei andere Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} \varrho_0^{\frac{2}{3}} - \varrho_1^{\frac{2}{3}} &= \varepsilon^2 \left[\varrho_0^{\frac{2}{3}}\,.\,sin^2\,\alpha - \varrho_1^{\frac{2}{3}}\,.\,sin^2\,(\alpha+\varphi)\right] \ldots\ldots\ldots \\ \varrho_0^{\frac{2}{3}} - \varrho_2^{\frac{2}{3}} &= \varepsilon^2 \left[\varrho_0^{\frac{2}{3}}\,.\,sin^2\,\alpha - \varrho_2^{\frac{2}{3}}\,.\,sin^2\,(\alpha-\varphi)\right] \ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} 3$$

Aus diesen endlich bekommt man nach Elimination von $\varepsilon^2$ die Gleichung

$$tang\,(2\alpha) = tang\,\varphi\,.\,\frac{(\varrho_0\,.\,\varrho_2)^{\frac{2}{3}} - (\varrho_0\,.\,\varrho_1)^{\frac{2}{3}}}{(\varrho_0\,.\,\varrho_1)^{\frac{2}{3}} + (\varrho_0\,.\,\varrho_2)^{\frac{2}{3}} - 2\,(\varrho_1\,.\,\varrho_2)^{\frac{2}{3}}} \ldots\ldots\ldots$$

Aus dieser letzten ist $\alpha$ zu finden, und wenn man $\alpha$ hat, aus einer der Gleichung 3b) die Excentricität $\varepsilon$ und aus 3a) die halbe Axe $a$. Die halbe kleine Axe der Ellipse ist gegeben durch die Gleichung

$$b = a\,.\,\sqrt{1-\varepsilon^2}\,,$$

und der Krümmungsradius im Scheitel der Ellipse

$$\varrho = a\,(1-\varepsilon^2) = \frac{b^2}{a}\,.$$

Es ist bei dieser Berechnungsmethode wieder die Gröfse der gespiegelten Bildch gegen die Axen der Ellipsen vernachläfsigt worden; denn nur wenn man das thut, ka man unmittelbar aus der Gröfse der Bildchen den Krümmungsradius berechnen. Wi man die Gröfse der Bildchen nicht vernachlässigen, so wird die Rechnung aufserordentli weitläufig, während ihre Ergebnisse sich nur ganz unerheblich von denen der hier g gegebenen Formeln unterscheiden. Die Resultate meiner Messungen, welche ich weit unten zusammengestellt habe, sind auf diesem genaueren Wege gewonnen. Übrige ist es immer nothwendig, die Rechnung zuerst nach den einfachen Formeln zu führe die ich oben aufgestellt habe, um genäherte Werthe der gesuchten Gröfsen zu erhalte da sich die genaueren Formeln nicht arithmetisch nach den Unbekannten auflös lassen, und daher deren Werthe nur durch approximative Rechnungen zu finden sind.

In dieser Weise habe ich für den horizontalen Durchschnitt der Hornha folgende Werthe für die drei untersuchten Augen gefunden. Es ist $a$ die halbe grofs $b$ die halbe kleine Axe der Ellipse, $\varrho$ der Krümmungshalbmesser im Scheitel, $\varepsilon$ d Excentricität, $\alpha$ der Winkel, den die Gesichtslinie nach der Nasenseite zu mit der grofs Axe der Ellipse bildet. Die Längenmaafse sind Millimeter.

| | $\varrho$ | $\varepsilon^2$ | $a$ | $b$ | $\alpha$ |
|---|---|---|---|---|---|
| O. H. | 7,338 | 0,4367 | 13,027 | 9,777 | 4° 19′ |
| B. P. | 7,646 | 0,2430 | 10,100 | 8,788 | 6° 43′ |
| J. H. | 8,154 | 0,3037 | 11,711 | 9,772 | 7° 35′ |

Es bleibt noch übrig, die Lage des Randes der Hornhaut gegen den Scheitel Ellipse und die Gesichtslinie zu bestimmen. Ich brauchte dazu das Ophthal-eter mit dem Concavglase an seinem vorderen Ende, brachte dicht unter diesem Glase ein es Licht reflectirendes Spiegelchen an, dessen Spiegelbild als ein helles Pünktchen auf der haut erschien. Da das Licht hier in derselben Richtung in das Auge fiel, als das rohr hineinsah, mufste das Spiegelbild auf derjenigen Stelle der Hornhaut erscheinen, he senkrecht gegen die Fernrohraxe war. Nun wurden die ebenen Glasplatten des halmometers gedreht, so dafs sich die Bilder der Hornhaut und des hellen Pünktchens af verdoppelten. Zugleich verschob ich den Körper, auf dem das beobachtete Auge a Gesichtspunkt hatte, so, dafs es möglich wurde jedes der beiden Bilder des hellen tchens mit einem Bilde eines der entgegengesetzten Ränder der Hornhaut zusammen-i zu lassen. Die Einstellung war gut auszuführen, da das Spiegelbildchen nahehin r Ebene der Hornhautbasis liegt, und deshalb mit dieser zugleich deutlich im Fern-erscheint. Es wurde endlich durch passende Abmessungen der Winkel $\beta$ bestimmt, die optische Axe des Fernrohrs mit der Gesichtslinie des beobachteten Auges bei edachten Einstellung gemacht hatte, und dieser fand sich nahe gleich dem Winkel $\alpha$ hen der Gesichtslinie und der grofsen Axe der Ellipse. Zur Vergleichung setze ich Winkel für die drei gemessenen Augen neben einander.

| | $\beta$ | $\alpha$ | Differenz |
|---|---|---|---|
| O. H. | 4° 51′ | 4° 19′ | + 32′ |
| B. P. | 6° 21′ | 6° 43′ | − 22′ |
| J. H. | 7° 9′ | 7° 35′ | − 26′ |

Die spiegelnde Stelle der Hornhaut war also nahehin der Scheitel der Ellipse, das [illegible] lag in der grofsen Axe, und da sich durch dieselbe Drehung der Glasplatten [illegible] beide Hornhautränder mit dem Spiegelbildchen zum Decken bringen liefsen, [illegible] beide gleich entfernt von der Axe sein, folglich mufs die Basis Hornhaut eine nahehin auf der grofsen Axe der Ellipse senkrechte [illegible] sein, und der Mittelpunkt der Hornhaut mit dem Scheitel der [illegible] zusammenfallen. Die kleinen Differenzen zwischen den Winkeln $\alpha$ und $\beta$ [illegible] dabei vernachlässigt werden, da auch die gröfste Winkelabweichung 32′, längs Fläche der Hornhaut gemessen, nur 0,07 mm beträgt.

Aus dem Winkel, um den wir bei dem angegebenen Versuche die Glasplatten ab-[illegible] haben, können wir auch sogleich noch den horizontalen Durchmesser der Horn-[illegible] berechnen, und aus diesem und den Axen der Ellipsen den Abstand ihres [illegible] von der Basis. Diese Gröfsen finden sich, wie folgt, in Millimetern.

| Auge. | Durchmesser der Basis. | Abstand des Scheitels von der Basis. |
|---|---|---|
| O. H. | 11,640 | 2,560 |
| B. P. | 11,640 | 2,531 |
| J. H. | 12,092 | 2,511 |

[illegible] der ersten Veröffentlichung dieser Untersuchungsmethoden[1] sind eine grofse [illegible] Messungen der Krümmung und Dimensionen der Hornhaut gemacht worden. [illegible] genügen, mit Verweisung auf die am Schlusse des Werks folgenden Litteratur-[illegible] hier die von Donders[2] gegebene Zusammenstellung ihrer Ergebnisse anzu-

[1] Helmholtz, Graefe's Archiv für Ophthalmologie. I. 2. S. 1. 1854.

[2] F. C. Donders, On the anomalies of accommodation and refraction. London 1864 p. [illegible] — [illegible] VIII. 1 S. 1862.

führen. Die Mittelwerthe des Krümmungsradius der Hornhaut in der Gesichtslinie in Millimetern

A. Männer.

| | |
|---|---|
| 1) 20 unter 20 Jahren | 7,932 |
| 2) 51 unter 40 „ | 7,882 |
| 3) 28 über 40 „ | 7,819 |
| 4) 11 über 60 „ | 7,809 |
| Mittel | 7,858 |
| Maximum | 8,396 |
| Minimum | 7,28 |

B. Weiber.

| | |
|---|---|
| 1) 6 unter 20 Jahren | 7,720 |
| 2) 22 unter 40 „ | 7,799 |
| 3) 16 über 40 „ | 7,799 |
| 4) 2 über 60 „ | 7,607 |
| Mittel | 7,799 |
| Maximum | 8,487 |
| Minimum | 7,115 |

C. Nach der Sehweite geordnet.

| | |
|---|---|
| 1) 27 Normalsichtige | 7,785 |
| 2) 25 Kurzsichtige | 7,874 |
| 3) 26 Hypermetropen | 7,96 |

Die ellipsoidische Gestalt der Hornhaut ist nicht immer regelmäſsi gehalten; in der That habe ich die Annahme von SENFF, daſs die Hornhaut ein Ellipso zunächst nur in dem Sinne festhalten wollen, daſs ein kleines Stück einer jeden gekrü Fläche durch ein Ellipsoid sich genauer wird darstellen lassen, als durch eine Die Herren AUBERT und MATTHIESSEN[1] sind zu dem Resultat gekommen, da mittlerer Theil der Hornhaut sich einer Kugel mehr nähert, als es der Scheitel Ellipsoids thun sollte, und daſs erst in etwa 16° Entfernung von der Mitte die W geringer wird.

Eine ganz abweichende Form des Ophthalmometers hat Herr COCCIUS struirt, in welchem die Doppelbilder durch einen doppeltbrechenden Kalkspath mit par Grenzflächen hervorgebracht werden. Solche haben auch constante lineare Entf von einander, die man aber nicht variiren kann. Man verändert deshalb den A der Lichter, welche von der Hornhaut gespiegelt werden, bis die Doppelbilder wünschte Stellung zu einander haben.

Um in verticalen oder in schräg gerichteten Meridianen der Hor die Krümmung messen zu können, hat Herr DONDERS einen verticalen Holzring mit lichen Lichtchen construiren lassen. Bequemer noch ist es, an einer um eine horiz Axe drehbaren und in Centimeter getheilten Stange *Fig. 7* drei Spiegelchen *a*, *b*, c bringen, die in verschiedenen Entfernungen (*Fig. 8*) vermittels der Hülse *a* und der Schr angeklemmt, und mit Hülfe einer andern Schraube *g* in beliebiger Neigung festg werden können. Die Drehungsaxe bildet einen hohlen Cylinder *d* in *Fig. 7*, welchen das Ophthalmometer nach dem zu messenden Auge hin gerichtet wird. Lampe kommt nahe zur Seite des beobachteten Auges zu stehen, und die Drehu der Scala wird so gerichtet, daſs sie einen mitten zwischen beobachtetem Aug Lampe gelegenen Punkt schneidet. Die Spiegelchen müssen so gerichtet werde wären sie Stücke von einer Kugelfläche, die ihr Centrum in dem letztgenannten hat. Sie reflectiren dann das Licht der Flamme in das beobachtete Auge, und d Punkte einer spiegelnden Kugelschale innerhalb ziemlich groſser Winkelentfernung v

[1] H. AUBERT, *Pflüger's Archiv.* Bd. 35. S. 597. 1885.

[2] A. COCCIUS, *Über den Mechanismus der Accommodation des menschl. Auges.* Leipzig 1867. *Ophthal und Spannungsmessung am kranken Auge.* Leipzig 1872.

Der Scheitel des Ellipsoids zeigt oft gröfsere Abweichungen von der Mitte der Hornhaut als sie in den von mir beobachteten Augen vorhanden waren. Herr Dr. UHTHOFF fand für vier Augen:

| | Dr. A. | Dr. K. | Dr. R. | Dr. F. |
|---|---|---|---|---|
| Winkel $\beta$ bestimmt | | | | |
| a) mit Ophthalmometer | 6° 22′ | 3° 54′ | 2° 10′ | 6° 35′ |
| b) nach SCHOELER | 6° 6 | 4° 25′ | 2° 9′ | 6° 35′ |
| Winkel $\alpha$ | | | | |
| a) mein erstes Verfahren | 4° 11′ | 1° 17′ | 0° 0′ | 8°,45′ |
| b) Änderung MANDELSTAMM | 4° 8′ | 1° 29′ | 0° 0′ | 8° 11 |

Das erwähnte Verfahren von Herrn SCHOELER[2] beruht darauf, dafs man eine dicke planparallele Glasplatte senkrecht gegen die Visirlinie stellen kann, wenn man das Bild eines feinen Glasfadens, durch die Platte gesehen, zur genauen Fortsetzung des neben der Platte erscheinenden Theils des Fadens macht. So kann die Platte nach einander auf zwei verschiedene Gesichtszeichen eingestellt und ihr Drehungswinkel mit Scala und Fernrohr bestimmt werden. Das erste Gesichtszeichen wird so eingestellt, dafs der Beobachter am zweiten vorbeivisirend dies zum Decken bringt mit dem Hornhautreflex eines Lichtes, welches in derselben Richtung einfällt, wie der Blick des Beobachters. Dafs der Reflex in der Mitte der Hornhaut steht, wird mit drei auf eine Glastafel geritzten convergirenden Linien controllirt, die mit einem durch eine Convexlinse erzeugten Luftbild der Hornhaut zusammenfallen. Zuerst steht die Platte senkrecht zu dem auf das erste Gesichtszeichen gerichteten Blick des Beobachters, dann stellt der Beobachtete die Platte so ein, dafs sie senkrecht gegen seine auf das zweite Zeichen gerichtete Gesichtslinie ist.

Der Winkel zwischen Visirlinie und Mitte der Hornhaut, der hier $\beta$ genannt ist, ist praktisch wichtig wegen der Beurtheilung des Schielens.

## § 3. Die Uvea.

12 Das System der Uvea trägt seinen Namen von dem Vergleiche mit einer dunklen Weinbeere, die man von ihrem Stiele getrennt hat. Die Stielöffnung entspricht der Pupille. Sämmtliche Theile dieses Systems zeichnen sich dadurch aus, dafs sie von der Netzhaut getrennt auf ihrer inneren Fläche mit einer Lage von Pigmentzellen bedeckt zurückbleiben, theilweise auch solche in ihrer Substanz vertheilt zeigen, denen sie ihre dunkle Farbe verdanken. Die Uvea ist an zwei Stellen fest mit der Sehnenhaut verbunden, nämlich hinten an der Eintrittsstelle des Sehnerven *Fig. 1. d* (S. 5) und vorn an der inneren Wand des SCHLEMM'schen Kanals *a*. Den Theil *a b b a*, welcher nach vorn und innen von dieser letzteren Befestigung und zunächst hinter der Hornhaut liegt, nennt man *Iris* (Blendung); den hinteren Theil, welcher die innere Fläche der Sehnenhaut bekleidet, Aderhaut *(Chorioidea)*.

Im hinteren Theile des Augapfels bildet die Aderhaut eine dünne dunkle Membran, gröfstentheils aus Blutgefäfsen zusammengesetzt, die durch ein eigenthümliches Gewebe verbunden sind. Dieses Gewebe, welches KÖLLIKER als unentwickeltes elastisches Gewebe bezeichnet, besteht aus in einander geflochtenen strahligen, zum Theil mit Pigment gefüllten Zellen, deren Ausläufer äufserst fein verästelt sind. Dies eigenthümliche Stroma verbindet zunächst die Arterien und Venen der Aderhaut; die Schicht der Capillar-
n gefäfse *(membrana chorio-capillaris)* liegt ihm nach innen lockerer auf, und

[2] H. SCHOELER, *Gräfe's Archiv für Ophthalm.* XXX. (3) S. 311—312. 1884. — W. UHTHOFF, *Bericht der Ophthalm. Ges. zu Heidelberg.* 1884.

gemeinschaftlich an der inneren Wand des Schlemmschen Kanals und zwar an der Grenze des hinteren sehnigen Theils dieser Wand, ist aber durch ein Netzwerk elastischer Fasern, welche frei durch die wässrige Feuchtigkeit verlaufen, mit dem elastischen Theile dieser inneren Wand verbunden. Man nennt diese elastischen Fasern das *Ligamentum Iridis pectinatum*, *l* *Fig. 2.* Von da an verläuft die Iris, sich an die vordere Fläche der Linse legend, nach innen bis zu ihrem inneren oder Pupillarrande, und ist dabei leicht nach vorn gewölbt. Sie enthält organische Muskelfasern, welche zu zwei Muskeln zusammengefaſst werden können.

1) Der Ringmuskel der Pupille (*Musculus Contractor sive Sphincter Pupillae*), umgiebt in Form eines Ringes von 2 mm Breite den Pupillarrand; er liegt vor der Pigmentschicht und hinter der Hauptmasse der zum Pupillarrande verlaufenden Gefäſse und Nerven. Seine Fasern verlaufen in concentrischen Ringen, und verengern deshalb bei ihrer Zusammenziehung die Pupille.

2) Der Erweiterer der Pupille (*Musculus Dilatator Pupillae*). Seine Fasern entspringen von der inneren Wand des Schlemm'schen Kanals und wohl auch von den Fasern des *Ligamentum pectinatum*, und verlaufen an der hinteren
14 Seite der Iris netzförmig mit einander verbunden nach innen, wo sie sich in den Ringmuskel verlieren; doch ist die musculöse Natur der Fasern noch zweifelhaft.

Das Stroma der Iris ist Bindegewebe; hinten ist sie von der Pigmentzellenschicht, vorn von einem Epithelium bedeckt. Auch ihr Stroma enthält oft Pigmentzellen; dann ist ihre Farbe braun, sonst erscheint sie als ein trübes Medium vor dem dunklen Pigmente blau.

Das Verhalten der Gefäſse der Uvea bietet vieles Eigenthümliche. Ich habe schon angeführt, daſs die Gefäſse den gröſsten Theil der Masse dieses Systems ausmachen. Ihre zuführenden Arterien (*Arteriae ciliares posticae breves* für die Aderhaut und Ciliarfortsätze, *posticae longae* und *anticae* für die Iris) treten durch die Sclerotica ein, und communiciren mit den Venen nicht bloſs, wie es in anderen Theilen des Körpers der Fall ist, durch ein feines Capillargefäſsnetz, sondern auch durch ziemlich weite Verbindungsröhren, welche auf der Aderhaut in zierlich geordneten Bögen wedelförmig aus den Arterien entstehen, und sich wieder zu Venen (*Venae vorticosae*) sammeln. Die *Arteriae ciliares posticae breves*, etwa 20 Ästchen, durchbohren die Sclerotica an ihrem hinteren Theile, laufen, sich fortdauernd gabelförmig spaltend, nach vorn und geben ihr Blut theils durch das Capillargefäſsnetz, welches, soweit die Netzhaut reicht, an der inneren Seite der Aderhaut unter den Pigmentzellen liegt, theils durch die weiten Verbindungsäste der Vortices an die Venen ab, welche theils (*Vasa vorticosa*) am Äquator des Augapfels theils (*Venae ciliares posticae*) am hinteren Theile durch die Sclerotica austreten. Ein groſser Theil der Äste dieser Arterien läuft aber nach vorn in die Ciliarfortsätze und bildet in diesen ein Gefäſsknäuel, dessen rückkehrende Äste in die vorderen Bögen der Vortices übergehen. Durch diese Einrichtung wird wohl eine schnellere Aenderung der Blutvertheilung im Auge möglich, wie sie bei den durch die Accommodation schnell veränderten Druckverhältnisse gefordert wird. Das Gefäſsnetz der Iris hängt mit dem der Ciliarfortsätze zusammen, zum gröſsten Theile empfängt es aber sein Blut aus besonderen Stämmen, die theils hinten durch die Sclerotica treten (*Art. ciliares posticae longae*) und zwischen Aderhaut und Sehnenhaut nach vorn bis zum

auf die vordere Linsenfläche fallen läfst. Bei so starker Beleuchtung erscheint dann Substanz der Linse weifslich trübe, und man sieht, dafs von der Iris kein Schlagschat geworfen wird. Noch besser geschieht dies mittels der Reflexe, welche die vord Fläche der Linse von einfallend Lichte giebt. Wenn in *Fig.* $C_1$ $C_2$ ein convexer Kugelspie ist, *D E* ein davorstehen dunkler Schirm mit einer Öffnu *F G*, das Auge des Beobacht sich in *A* befindet und ein Li in *B*, und der am Rande Öffnung bei *F* vorbeigehen Lichtstrahl *B F* in *H* nach *H* zurückgeworfen wird, so wird Auge von den zwischen *H* und gelegenen Punkten der Spieg fläche kein zurückgeworfenes Li erhalten können, diese werd vielmehr die dunkle Hinters des Schirms spiegeln müssen z. B. würde in der Richtung Licht gespiegelt werden könn welches von dem Punkte *K* des Schirms ausgegangen ist. Zwischen *F* und *H* wird das Auge einen dunklen Theil der Spiegeloberfläche so oft erblicken müssen, als nicht Rand des Schirms der spiegelnden Fläche ganz dicht anliegt. Man kann sich von Richtigkeit des Gesagten an jeder spiegelnden convexen Fläche, z. B. eines gewölb metallenen Knopfes, überzeugen, für welche man sich ein passendes dunkles Diaphrag mit runder Öffnung gemacht hat. Nur wenn der Rand der Öffnung dicht an Fläche liegt, reichen die Spiegelbilder, welche sie von äufseren Gegenständen entwi bis an den Rand des Diaphragma. Ist dagegen zwischen letzterem und der spiegeln Fläche ein kleiner Zwischenraum, so sieht man an dem dem Auge gegenüberliegen
16 Rande der Öffnung eine dunkle Linie sich zwischen die Spiegelbilder und den Rand Öffnung einschieben.

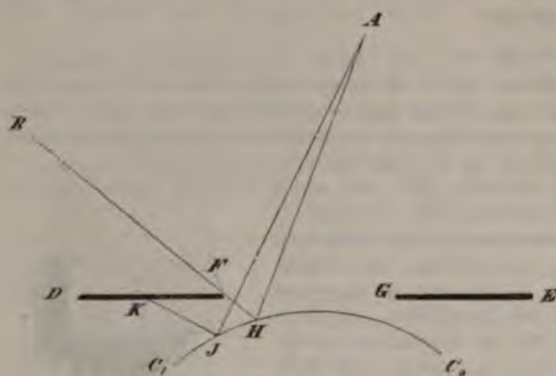


*Fig. 11.*

Die Flächen der Linse reflectiren ebenfalls Licht, aber sehr wenig. Man si diese Reflexe[1], wenn sich das Auge in einem dunklen Zimmer befindet, in welchem ein Licht enthalten ist. Man stellt das Licht vor dem Auge, etwas seitlich von der n vorn verlängerten Augenaxe, auf. Der Beobachter sieht von der andern Seite her in Auge, so dafs seine Gesichtslinie etwa denselben Winkel mit der Augenaxe macht, das einfallende Licht. Neben dem bekannten hellen Reflexe der Hornhaut sieht er d zwei andere sehr viel schwächere. Der gröfsere von beiden bildet ein aufrechtes, zieml verwaschenes Bild der Flamme und rührt von der vorderen Linsenfläche her, der klein bildet ein schärferes umgekehrtes Bildchen und wird von der hinteren Linsenfläche e worfen. Von den Augenärzten werden diese Reflexe die Sansonschen Bildch genannt. Wenn man die Stellung des Lichts oder des eigenen Auges verändert, währ man sie beobachtet, verändert sich auch die Stellung der Bildchen, und so gelingt leicht, das erstgenannte derselben, das der vorderen Linsenfläche, bis an jede belieb Stelle des Randes der Pupille zu führen. Man sieht es dann stets, auch an dem d Beobachter gegenüberliegenden Rande der Pupille, bis dicht an die Iris rücken, o zwischenliegende schwarze Linie. Wenigstens ist dies unter normalen Umständen o

[1] Entdeckt von Purkinje. S. dessen Abhandlung: *De examine physiologico organi visus et syst. cuta* Vratisl. 1823. Zur Diagnose von Krankheiten benutzt von Sanson (*Leçons sur des maladies des y* Paris 1837). Ihr Ursprung ist genauer bestimmt durch H. Meyer, *Henle's* und *Pfeufer's Zeitsch für rationelle Medicin.* 1846. Bd. V.

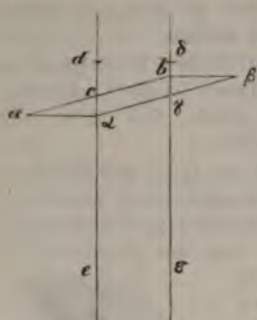



*Fig. 14.*

perspectivisch hinter dem Mittelpunkte der Pupille liegt. Es seien in *Fig. 14* die beiden Linien $e\,d$ und $\varepsilon\,\delta$ parallel der Fernrohraxe des Ophthalmometers, $a\,b$ und $\alpha\,\beta$ die beiden Doppelbilder des horizontalen Durchschnitts der Pupille. Wir nehmen an, daſs der Mittelpunkt der Pupille, das Licht, die Axe des Fernrohrs, die Gesichtslinie des beobachteten Auges alle in derselben Horizontalebene liegen. Nach der oben in §. 2 gegebenen Theorie dieses Instruments müssen alle Verbindungslinien entsprechender Punkte der beiden Doppelbilder gleich lang und senkrecht gegen die Axe des Fernrohrs, die beiden Doppelbilder selbst aber congruent sein. Danach ist also $a\,\alpha$ gleich und parallel $b\,\beta$, und $a\,b$ gleich und parallel $\alpha\,\beta$. Es seien nun $d$ und $\delta$ die entsprechenden Doppelbilder des Lichtpunktes, und es sei eine solche Stellung des Auges gefunden, bei der $d$ von $\alpha$ gedeckt wird und $\delta$ von $\gamma$, d. h. wo die der Fernrohraxe parallele Linie $d\,e$ durch $\alpha$ und $\delta\,\varepsilon$ durch $b$ geht. Da $d\,\delta$, $a\,\alpha$ und $b\,\beta$ normal zu den Parallelen $d\,e$ und $\delta\,\varepsilon$ sind, ist

$$d\,\delta : b\,\beta = \alpha\,\gamma : \gamma\,\beta,$$
$$d\,\delta : a\,\alpha = c\,b : a\,c.$$

Da nun aber die Entfernungen entsprechender Punkte der Doppelbilder gleich sind, ist

$$d\,\delta = a\,\alpha = b\,\beta,$$

folglich auch

$$\alpha\,\gamma = \gamma\,\beta \text{ und}$$
$$c\,b = a\,c.$$

Die Punkte $c$ und $\gamma$, hinter welchen die Lichtpunkte $d$ und $\delta$ perspectivisch erscheinen, sind also die Mittelpunkte der Pupillen.

Es ist nun leicht, durch passende Abmessungen zu ermitteln, welchen Winkel die Linie $e\,d$ oder die Axe des Fernrohrs mit der Gesichtslinie des beobachteten Auges macht. Dann ist die Lage der Linie $e\,d$ im Horizontalschnitt des Auges gegeben durch einen Punkt (Lichtbild auf der Hornhaut) und den Winkel, den sie mit einer anderen Linie von bekannter Richtung, der Gesichtslinie, bildet. In dieser Linie $e\,d$ liegt auch der Mittelpunkt der Pupille.

Dann braucht man nur noch eine zweite Beobachtung derselben Art zu machen, wobei man von einer anderen Richtung her in das beobachtete Auge sieht. Man bekommt dann eine zweite gerade Linie von bekannter Lage, in welcher der Mittelpunkt der Pupille liegt. Dieser muſs also dort liegen, wo die beiden betreffenden Linien sich schneiden, und seine Entfernung von der Hornhaut kann endlich durch Construction oder Rechnung vollständig gefunden werden.

18 Die Beobachtungsmethode war nun folgende: $A$ (*Fig. 15*) ist das Auge, an welchem die Messung vorgenommen werden soll; es sieht durch die Öffnung eines Schirms, um seine Lage annähernd festzustellen. In einiger Entfernung von ihm befindet sich eine horizontale Scale $CD$. Denkt man sich vom Auge $A$ ein Loth auf die Scale gefällt, so befindet sich an dessen Fuſspunkte $B$ ein Schirm mit einer kleinen Öffnung,* hinter der eine Flamme steht, deren Licht durch die Öffnung auf das Auge fällt, und von der Hornhaut gespiegelt wird. Bei $F$ befindet sich ein verschiebbares Zeichen, welches als Gesichtspunkt dient. Bei $G_1$ und $G_2$ sind die Stellungen angedeutet, die man dem Ophthalmometer nach einander giebt, beide gleichweit von $B$ entfernt. Für die drei Füſse des Fernrohrs macht man Marken auf dem Tische, da die Stellung des Fernrohrs während des Versuchs gewechselt wird. Das Auge $A$ wird nun angewiesen, fortdauernd nach dem Zeichen $F$ hinzusehen und allen Bewegungen desselben zu folgen. Der Beobachter, welcher zuerst von $G_1$ aus beobachten möge, dreht die Glasplatten des Ophthalmometers so weit, bis von den Doppelbildern des hellen Pünktchens auf der Hornhaut das eine mit dem einen Pupillarrande zusammentrifft. Trifft dann das andere nicht

Eine etwas abweichende Methode ist von den Herren MANDELSTAMM und SCHOELER[1] im Berliner Physikalischen Laboratorium ausgeführt, und später von Herrn REICH[2] angewendet und vollständiger beschrieben. Dabei sucht man das Mikroskop gleichzeitig auf den Rand der Pupille und ein von der Cornea entworfenes Spiegelbild einzustellen. Damit man dies kann, müssen beide scheinbar in gleicher Ebene liegen. Das Cornealbild ist das durch eine kleine verschiebbare Sammellinse ($3\frac{1}{2}$ Zoll Brennweite) entworfene Bild einer fernen Flamme, dessen Strahlen durch eine zwischen Mikroskop und Auge befindliche unbelegte spiegelnde Glasplatte von vorn her auf die Hornhaut geworfen werden. Die Linse steht der spiegelnden Platte ziemlich nahe seitwärts von der Axe des Mikroskops. Darauf bestimmt man nach Entfernung des beobachteten Auges, in welcher Entfernung vom Objectiv des Mikroskops sich das von der Linse projicirte reelle Bild der Flamme einerseits und die scheinbare Pupille anderseits befanden, welche mit dem von der Hornhaut entworfenen Spiegelbilde der Flamme zusammenfiel. Kennt man den Krümmungsradius der Hornhaut, so genügt dies, um den Abstand des Spiegelbildes, bezüglich der scheinbaren Pupille von der Hornhautfläche zu berechnen. Der Hornhautradius kann, wenn keine grofse Genauigkeit verlangt wird, auch mit dem Cornealmikroskop gemessen werden, wenn man zwei Flammenreflexe erzeugt, und deren Abstand durch eine im Brennpunkt des Oculars angebrachte Glasplatte mifst, auf die eine Scala von Zehntel Millimeter eingeschnitten ist.

Die Messungen von Herrn REICH ergaben für drei Personen im Ruhezustand des des Auges (Accommodation für die Ferne):

Wirkliche Tiefe der vorderen Kammer in Millimeter.

| | Ophthalmometer | Mikroskop |
|---|---|---|
| H. H. | 3,6696 | 3,639 |
| H. G. | 3,636 | 3,708 |
| H. S. | — | 3,6516 |

Herr REICH fand, dafs Wiederholung der Messungen dieser Tiefe mit dem Mikroskop bessere Übereinstimmung ergab, als mit dem Ophthalmometer. In der That könnten Schwankungen in der Weite der Pupille einen nachtheiligen Einflufs bei der letzteren Messung haben, wenn dabei auch der Mittelpunkt der Pupille seine Lage ändern sollte.

19 Dafs die Iris der Linse anliege und nach vorn gewölbt sei, ist von den Anatomen vielfach bestritten worden. Die älteren Anatomen nahmen es an, bis namentlich PETIT, auf Grund seiner Untersuchungen an gefrorenen Augen, das Gegentheil behauptete und zwischen Iris und Linse die sogenannte **hintere Augenkammer** annahm. In gefrorenen Augen findet man bald dünne Eisblätter zwischen Iris und Linse, bald nicht. Der Meinung von PETIT folgten fast alle späteren Anatomen, bis in der neuesten Zeit STELLWAG VON CARION und CRAMER sich wieder für die enge Anlagerung der Iris an die Linse erklärten. Ich selbst fand es möglich, in der oben beschriebenen Weise directe Beobachtungen dafür zu liefern, welche mir keinen Zweifel übrig zu lassen scheinen.

## § 4. Die Netzhaut.

Die **Netzhaut** (*Retina*) ist eine flächenförmige Ausbreitung von Nervenmasse, im Hintergrunde des Auges zwischen Aderhaut und Glaskörper gelegen. Sie ist frisch ziemlich durchsichtig, an todten Augen weifslich trübe

[1] L. MANDELSTAMM u. H. SCHOELER, *Gräfe's Archiv für Ophthalmol.* XVIII. (1) S. 155. 1872.
[2] M. REICH, *Gräfe's Archiv für Ophthalmol.* XX. (1) S. 207. 1874.

je einen in eine Faser der vorigen Schicht übergehenden Fortsatz (*a*, *a*), und einen oder auch (namentlich die gröfseren Zellen) mehrere, sich zum Theil verästelnde Fortsätze *b*, welche in die folgenden Schichten eintreten. Beim Menschen beträgt der Durchmesser der Zellen zwischen 0,01 und 0,03 mm; sie liegen in dem gröfseren Theile der Netzhaut in einfacher Schicht neben einander; nur in der Nähe des gelben Flecks drängen sie sich zusammen, und innerhalb desselben liegen bis 8 oder 10 Schichten übereinander, während das Centrum desselben davon frei bleibt, und deshalb als eine vertiefte dünne Stelle, die Netzhautgrube (*fovea centralis*), erscheint.

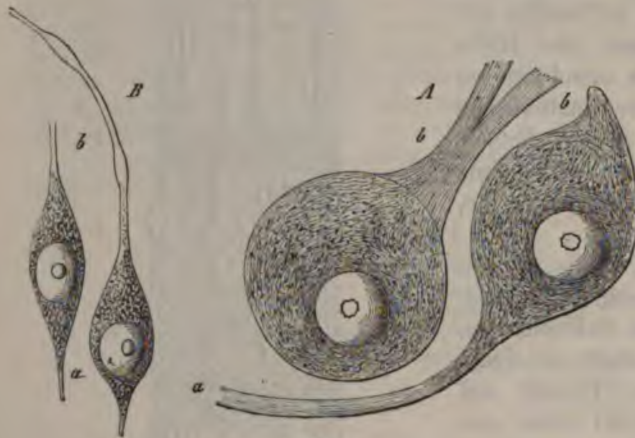


*Fig. 17.*

4) Die innere granulirte Schicht, eine schwer zu entwirrende Masse einer feinkörnigen Grundsubstanz, durchzogen von feinsten blassen Nervenfasern, die wohl aus den Fortsetzungen der Ganglienzellen hervorgehen, und sehr feiner bindgewebiger und elastischer Stützfasern, welche sich überhaupt zwischen allen andern Elementen der Netzhaut von der inneren zur äufseren *Membrana limitans* hinziehen.

5) Die innere Körnerschicht (äufsere Nervenzellen Henle), der der Ganglienzellen ähnlich; nur sind diese Körner viel kleiner, umschliefsen ziemlich eng ihren Kern. Auch diese senden je einen sehr feinen Fortsatz central, d. h. in die vorausgehende Schicht, dagegen mehrere, theilweis verästelte peripher ab. Aufser den Körnern, die den Nervenzellen entsprechen, finden sich noch Kerne des Stützfasersystems in dieser Schicht vor.

6) Die äufsere granulirte Schicht von sehr räthselhafter Structur; platte vielstrahlige Zellen mit Kernen liegen der Fläche der Netzhaut parallel, zwischen ihren Rändern bleiben Öffnungen; feinste Nervenfasern scheinen ebenfalls der Fläche parallel zu ziehen; daneben ein engmaschiges Netzwerk schärfer gezeichneter Fasern.

7) Die äufsere Körnerschicht.

8) Die *Membrana limitans externa*.

9) Stäbchen und Zapfen. *Fig. 18* zeigt neben einander ein Stäbchen und einen Zapfen vom Menschen nach Max Schultze. *l l* bezeichnet die Stellen, wo sie in die *Limitans externa* eingefügt sind. Sie stehen auf der

mit einer kegelförmigen Anschwellung* zu endigen. Von der gegen die *Granulosa externa* gekehrten Basis des Kegels gehen feine Fäserchen, feinen Nervenfasern in den Reactionen ähnlich, ab, die sich der Fläche der Netzhaut parallel in die genannte Schicht einsenken.

Die Stäbchen gehen spitz in feinere Fasern über, welche je ein Korn (Stäbchenkorn) in ihrem Verlauf enthalten, und bilden schliefslich an der *Granulosa externa* ein kleinere kolbenförmige Anschwellung. Die Stäbchenkörner sind quergestreift und liegen an denjenigen Stellen der Netzhaut, wo viele Stäbchen vorkommen, in vielen Lagen über einander.

10) Endlich die letzte Schicht der Netzhaut, die an die Aderhaut stöfst, ist die Pigmentschicht. Von der äufseren Fläche her gesehen, zeigt sie ziemlich regelmäfsig sechseckig abgegrenzte Zellen von 0,012 bis 0,018 mm Durchmesser (*Fig. 21a*). Sie enthalten im Inhalt längliche schwarze Pigmentkörnchen, die wie kleine nadelförmige Krystalle aussehen. *Fig. 21 b* zeigt in einer Seitenansicht der Pigmentzellen die grofse Zahl feiner Ausläufer, welche sich in die Zwischenräume zwischen die Stäbchen hineinziehen, mindestens bis zur Grenze zwischen Aufsenglied und Innenglied. Eine Zelle, an welcher Aufsenglieder von Stäbchen zwischen diesen Ausläufern festhängen, ist in *Fig. 21 c* dargestellt. Die Pigmentkörnchen können in die Fortsätze hineinwandern, und wieder zu den Zellen zurück, worauf ebenfalls das Licht Einflufs hat. Auch hierüber wird § 18 Näheres bringen. *Fig. 22* zeigt nach Frisch die Pigmentkörnchen *a* vom Menschen, *b* vom Meerschweinchen, *c* von der Taube, *d* vom Frosch, *e* vom Hecht.

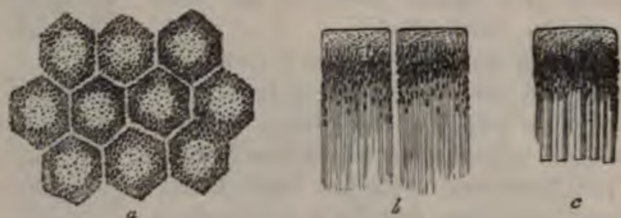


*Fig. 21.*

Nach der Beobachtung von Boll entspricht in der Netzhautgrube je ein Zapfen einer Pigmentzelle, während gegen den Rand der Netzhaut hin bis zu 15 Stäbchen auf einer Pigmentzelle befestigt sind, und die Zellen Sechsecke bilden, die in meridionaler Richtung etwas verlängert sind.

21 Der gelbe Fleck, für das Sehen der wichtigste Theil der ganzen Netzhaut, unterscheidet sich von den übrigen Theilen durch seine gelbe Farbe, welche von einem alle Theile mit Ausnahme der Stäbchenschicht durchdringenden Pigmente herrührt. Ihm fehlt die Nervenfaserschicht, und in der Stäbchenschicht finden sich nur Zapfen. In seiner Mitte befindet sich eine sehr durchsichtige vertiefte Stelle, die schon erwähnte Netzhautgrube (*Fovea centralis*), welche leicht einreifst und daher früher für eine Öffnung gehalten wurde. Die Nervenzellenschicht ist am Umfang des gelben Flecks stärker als in sämmtlichen übrigen Theilen der Netzhaut, in der *Fovea centralis* wird sie aber wieder dünner, und enthält nur wenige Lagen von Zellen über einander; die granulöse Schicht fehlt vielleicht in der Mitte ganz. Die

Körnern und Ganglienzellen der vorderen Schichten herstellen. Weit
*glc* die äufsere gangliöse Schicht, *gri* die innere granulierte, *gli* die i
gangliöse, *n* die Nervenfaserschicht, *L h* die *Limitans hyaloidea* oder *in*

21 Auch bei der Untersuchung mit dem Augenspiegel markirt sic
Netzhautgrube durch einen besonderen Lichtreflex (s. § 16). Sie e
den Punkt des directen Sehens, d. h. auf ihr wird der Punkt des Ges
feldes abgebildet, auf welchen wir den Blick richten.

n Für eine andere physiologisch wichtige Stelle, die Eintrittsstelle de
nerven ist ein Durchschnitt in *Fig. 24* gegeben; darin sind *OO* die F
bündel, *r* die Netzhaut, *ch* die Aderhaut, *scl* die Sclerotica, alle drei i
Mitte durch die Sehnervenfasern durchbohrt. Die Sehnenhaut schiebt
durchlöcherte Lamelle *Lamina cribrosa*, *Lcr*, dazwischen. *Vc* ist die ce
Vene des Nerven. Die Figur stellt nur die linke Hälfte des Durchsc
dar. Sie ist also auf der andern Seite der centralen Vene symme
zu ergänzen.

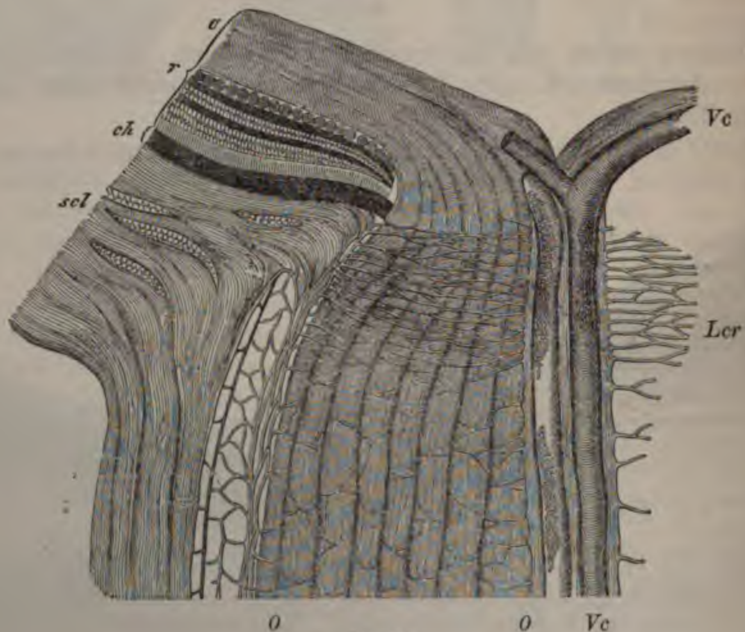



*Fig. 24.*

21 Die Gefäfse der Netzhaut treten in der Mitte des Sehnerven i
Auge (*Arteria* und *Vena centralis Retinae*), und verästeln sich von da aus l
förmig nach allen Richtungen. Anfangs liegen sie nahe unter der *Mem*
*limitans interna*, in der Schicht der Sehnervenfasern, später dringen sie a

Länge der Stäbchen *B.* 0,027 bis 0,030. *Ko.* 0,063 bis 0,081.

Durchmesser der Zapfen *Ko.* 0,0045 bis 0,0067. *V.* 0,0034 bis 0,0068. Im gelben Flecke *Ko.* 0,0045 bis 0,0054.

Länge der Zapfen *V.* 0,015 bis 0,020.

23

## § 5. Die Krystallinse.

Die Krystallinse ist ein durchsichtiger, farbloser, biconvexer Körper, dessen vordere Fläche weniger gewölbt ist als die hintere. Sie wird umschlossen von einer structurlosen glashellen Membran (Linsenkapsel), welche in allen Eigenschaften der Descemetschen Membran entspricht; auch trägt sie, wie diese, vorn, wo sie von der wässrigen Feuchtigkeit bespült wird, nach Brücke ein Epithelium, welches Henle und Kölliker dagegen läugnen. Ihre hintere Hälfte ist mit der Glashaut verwachsen. Die Substanz der Linse ist in den äufseren Schichten von gallertartiger Consistenz, in deren Mitte oder dem Kerne der Linse dagegen consistenter. Das Ganze bildet in frischem Zustande einen elastischen Körper, der jeder äufseren Gewalt zwar leicht nachgiebt, aber auch schnell und vollkommen seine frühere Form wieder annimmt.

Die Substanz der Linse ist doppeltbrechend. Wenn man sie zwischen zwei gekreuzten Nicolschen Prismen betrachtet, sieht man das schwarze Kreuz mit farbigen Ringen, welches senkrecht zur optischen Axe geschnittene einaxige Krystalle zeigen.

Die Masse der Linse besteht aus einem eigenthümlichen Proteinkörper, dem Globulin oder Krystallin. Ihre mikroskopischen Elementartheile sind Fasern von sechsseitigem Querschnitt, 0,0056 bis 0,0112 mm breit, 0,002 bis 0,0038 mm dick, im Kerne fester und schmaler als in den äufseren Schichten. Ihre breitere Fläche liegt der Oberfläche der Linse parallel, daher die Linse auch leicht in dieser Richtung in zwiebelartig über einander liegende Schichten spaltet. *Fig. 26* zeigt die Querschnitte der Fasern in ihrer Zusammenlagerung, *Fig. 27* zeigt die Richtung der Schichten in einem Durchschnitte der Linse. Die Fasern haben im Allgemeinen in jeder einzelnen Schicht die Richtung von der Axe der Linse nach ihrer Peripherie hin. Nur in den der Axe näheren Theilen bilden sie, indem sie mit kernhaltigen geschwollenen Enden aneinanderstossen, eigenthümliche sternförmige Figuren, wie eine solche aus den äufseren Linsenschichten in *Fig. 28* abgebildet ist. In den Kernschichten hat der Stern nur drei Strahlen, welche mit einander Winkel von
24 120° machen. Die Sterne der hinteren und vorderen Fläche sind um 60° gegen einander gedreht. In den äufseren Schichten spalten sich dagegen

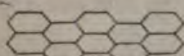


*Fig. 26.*



*Fig. 27.*

…rei Hauptstrahlen der Sterne vielfach in Nebenstrahlen, so dafs viel …keltere und unregelmäfsigere Figuren entstehen.

…icht unter der Kapsel liegt statt Fasern eine Zellenschicht, welche dem Tode zerfliefst und dann den …r *Morgagnii* bildet. Ähnliche …n verbinden nach BRÜCKE auch die …enden in den Strahlen der Sterne …tens in den äufseren Schichten, …nd BOWMAN und KÖLLIKER hier …structurlose Substanz annehmen. …erer erklärt auch die zellenähnlichen …de an der hinteren Linsenfläche …geschwollene und sich gegenseitig …ende Enden der Linsenfasern, …e sich hier an die Kapsel heften. …eder Hälfte der Linse existiren

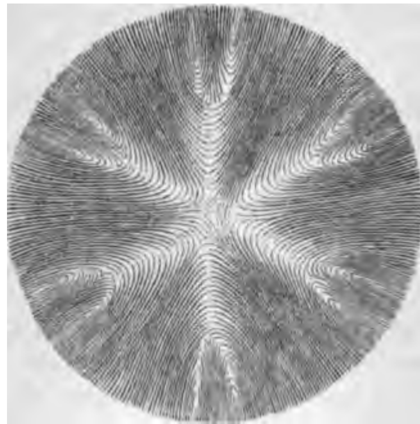


*Fig. 28.*

drei durch die Axe gehende Ebenen, die den Hauptstrahlen der Sterne …rechen (*central planes*, BOWMAN), in denen die Structur der Linse ab…end ist; in den oberflächlichen Schichten theilen sich diese Flächen noch …r. Es hängen damit wahrscheinlich gewisse Unregelmäfsigkeiten in der …ung der Lichtstrahlen zusammen.

THOMAS[1] hat eigenthümliche Figuren beschrieben, welche die Faser- … auf Durchschnittsflächen getrockneter Linsen bilden, und welche … aus zwei Systemen concentrischer Kreise bestehen. Diese sind von …MAK[2] aus dem Faserverlauf der Linse erklärt worden.

… die Dimensionen der Krystallinse sich bei der Accommodation des Auges ändern, … … die Angaben über ihre Gröfse und die Methoden sie zu messen auf § 10.

## § 6. Wässrige Feuchtigkeit und Glaskörper.

Die wässrige Feuchtigkeit (*Humor aqueus*) füllt den Raum zwischen 25 Hornhaut, Iris und Linse aus. Den Raum, welcher zwischen der hinteren … der Hornhaut, der vorderen Fläche der Iris und der Pupillarebene …, nennt man die vordere Augenkammer. Den Raum dagegen, den zwischen der Pupillarebene, der hinteren Fläche der Iris und der …ren Fläche der Linse vorhanden glaubte, nannte man hintere Augen…mer; indessen ist dies in der That im normalen Zustande nur eine …ale Spalte, indem die hintere Fläche der vorderen der Linse dicht …t. Nur bei starker künstlicher Erweiterung der Pupille durch Bella…a scheint sich die Iris von der Linse zu entfernen.

[1] THOMAS *Prager medic. Vierteljahrsschr.* 1854. Bd. I. Aufserord. Beilage. S. 1.

[2] CZERMAK *Zeitschrift für wissensch. Zoologie.* Bd. 7, S. 185. 1855. Die neuesten Untersuchungen … Structur der Linse finden sich in: OTTO BECKER. *Zur Anatomie der gesunden und kranken Linse.* …den 188…

Die wässrige Feuchtigkeit füllt also die vordere Augenkammer. Sie ist klar, farblos und besteht aus Wasser, welches etwa 2 Proc. fester Stoffe, nämlich Kochsalz und Extractivstoffe, enthält. Sein Brechungsverhältniß ist kaum von dem des Wassers unterschieden.

Der Raum des Augapfels, welcher zwischen der Linse und der Netzhaut liegt, ist vom Glaskörper (*Corpus vitreum, Humor vitreus*) ausgefüllt, welcher von der Glashaut (*Membrana hyaloidea*) umschlossen wird. Der Glaskörper bildet eine gallertartige Masse von wenig Zusammenhang. Wenn man ihn zerschneidet, tropft eine dünne, nicht Faden ziehende Flüssigkeit aus. Diese reagirt alkalisch, und enthält 1,69 bis 1,98 Proc. feste Theile, von denen die Hälfte aus unorganischen Stoffen (Kochsalz, wenig kohlensaures Natron, Spuren von Kalk, Schwefelsäure und Phosphorsäure) besteht. Der organische Theil des Inhalts scheint hauptsächlich Schleimstoff zu sein, und enthält Spuren einer Proteinverbindung. Auch das Brechungsverhältniß des Glaskörpers unterscheidet sich kaum von dem des Wassers, ist aber etwas höher als das der wässrigen Feuchtigkeit.

Bei Embryonen hat der Glaskörper einen zelligen Bau, später aber findet man von den Zellen nur einzelne Reste, Membranen, Körnerchen, körnige Massen, welche sich in der Flüssigkeit, wenn auch nicht ganz frei, bewegen. Seine Consistenz verdankt der Glaskörper wahrscheinlich einer geringen Menge einer stark aufgequollenen organischen Substanz (Schleimstoff oder Faserstoff). Geringe Mengen Faserstoff, welche sich aus hydropischen Flüssigkeiten abscheiden, geben oft ähnliche leicht bewegliche Gallerten,
26 aus denen die Flüssigkeit ausläuft, wenn man den Zusammenhang des Gerinnsels mechanisch zerstört. Läfst man den Glaskörper in Reagentien, welche den Schleimstoff niederschlagen, z. B. in Lösungen von essigsaurem Bleioxyd oder Chromsäure erhärten, so findet man auf Durchschnitten zuweilen regelmäfsige Streifungen, von denen es aber noch höchst zweifelhaft ist, ob sie Membranen entsprechen, welche sich durch den Glaskörper hinziehen.

Hannover nimmt auf Grund dieser Streifungen an, dafs im menschlichen Glaskörper ebene Membranen vorkommen, und sich alle in einer Linie schneiden, die von der Eintrittsstelle des Sehnerven nach der hinteren Fläche der Linse hinübergeht, und dafs die Membranen sich von dieser Linie nach dem äufseren Umfang des Glaskörpers hinüberziehen und dort ansetzen, so dafs der Bau des Glaskörpers ähnlich dem einer Apfelsine sein würde.

Bei den entoptischen Erscheinungen werde ich die Schlüsse besprechen, welche man daraus auf die Structur des Glaskörpers ziehen kann.

Die Glashaut ist eine sehr feine, glashelle, structurlose Membran, welche im hinteren Theile des Auges der *Membrana limitans interna* der Netzhaut anliegt, und ihr im Leben überall[1], nach dem Tode nur an der Eintrittsstelle des Sehnerven und an der *Ora serrata* fest anhaftet. Von der Ora

[1] M. de Vintschgau in *Sitzber. d. Wiener Akad.* XI. 943. 1853 u. A. Burow in *J. Müller's Archiv.* 1840

-etzt sie sich, dünner geworden, fort bis zur hinteren Fläche
i-enkapsel, mit der sie verschmilzt (*Fig. 1. k*), während sich
n sie und den Ciliartheil der Netzhaut noch eine andere Membran
ht, die *Zonula Zinnii* (*Ligamentum suspensorium lentis*), welche
ichen Anatomen als ein vorderes Blatt der Glashaut bezeichnet wird.
Zonula ist wie eine Halskrause gefaltet, so dafs sie der Oberfläche
iarfortsätze folgt. Der vordere oder äufsere Rand ihrer Falten
st mit der *Membrana limitans* verbunden in der Tiefe zwischen den
der Ciliarfortsätze, der hintere oder innere Rand ihrer Falten,
den Gipfeln der Ciliarfortsätze entspricht, nähert sich der Glashaut.
*1* ist die Zonula durch die Linie *e*
net. Rechts fällt sie zwischen zwei
rtsätze, links zieht sie über den Gipfel
lchen Fortsatzes hin. In dieser Weise
sie zum Rande der Linse, und setzt sich
r gewellten Linie an deren Kapsel
n *Fig. 29* ist nach BRÜCKE ein Quadrant
se, projicirt auf eine durch die Axe
Linse gelegte Ebene, dargestellt. Die
nie der Glashaut ist mit *c d* bezeichnet.
sieht man die gezackte Ansatzlinie der

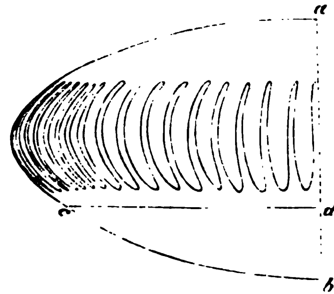


*Fig. 29.*

Nach HENLE würde die gewellte Linie fast ganz auf die vordere
r Linse hinüberrücken.
r spaltenförmige Raum zwischen der Zonula und Glashaut wird
*Petit* genannt. Wenn man ihn aufbläst, nachdem man die
n vorn frei gelegt hat, treten die eingestülpten Falten der Zonula
heraus, und das Ganze bekommt das Ansehn einer ionischen Eier-
:ker nannte ihn sein Entdecker PETIT auch *Canal godronné*. Bei
n Blasen zerreifsen die hervorgestülpten Theile der Membran, und 27
a nur die vorderen Faltenränder wegen ihrer gröfseren Festigkeit
stehen, welche die Linse an den Glaskörper anheften. Diese
Faltenränder sind übrigens fest verbunden mit dem Ciliartheile der
der in der Tiefe zwischen den Ciliarfortsätzen hinzieht, und
haftet wieder der Pigmentschicht fest an. Hier finden sich auch
vor, welche nach BRÜCKE aus den Fasern herstammen, zwischen
Nervenzellen der Netzhaut eingebettet sind. Diese drängen sich
*a serrata* an den Stellen zusammen, die den Zwischenräumen je
Ciliarfortsätze entsprechen, und ziehen im Grunde dieser Zwischen-
nach vorn. Die Zonula selbst erklärt BRÜCKE für eine structurlose
n, während HENLE und KÖLLIKER sie selbst für faserig erklären.
Reagentien sind die Zonula und ihre Fasern so resistent wie
es Gewebe.

Zonula sichert die Stellung der Linse, indem sie diese an den
per heftet, und kann auch, wenn sie gespannt ist, auf den Äqua-

torialrand der Linse einen Zug ausüben, welcher die Äquatorialdurchmesser der Linse verlängert, ihre Dicke in der Axe verringert, und ihre Flächen abplattet.

## § 7. Umgebung des Auges.

Der Augapfel liegt, in lockeres Fettzellgewebe eingebettet, in der knöchernen Augenhöhle (*Orbita*). Diese hat eine nahehin kegelförmige Gestalt. Die Grundfläche des Kegels ist die vordere Öffnung der Orbita in der Gesichtsfläche, die Spitze des Kegels liegt nach hinten und etwas nach einwärts. In *Fig. 30* ist die Lage der Augen in den beiden Augenhöhlen

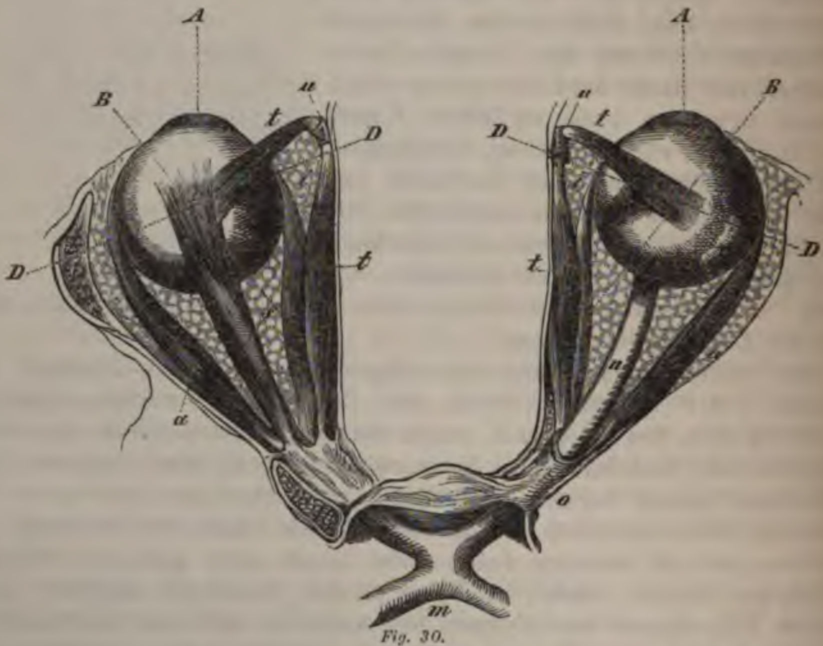



*Fig. 30.*

dargestellt. Aus der hinteren Seite des Augapfels rechts sieht man den Sehnerven *n* hervortreten, welcher durch ein in der Spitze der Augenhöhle gelegenes Loch *o* (*Foramen opticum*) in die Schädelhöhle eintritt, um sich hier bei *m* im *Chiasma nervorum opticorum* mit dem der anderen Seite zu vereinigen und zu kreuzen. Die Fortsetzungen der Sehnerven vom Chiasma bis zum Gehirn nennt man die *Tractus optici*. Die Fasern eines jeden *Tractus opticus* gehen theils in den Sehnerven derselben, theils in den der entgegengesetzten Seite über, ein kleiner Theil auch durch den *Tract*— *opticus* der anderen Seite nach dem Gehirne zurück. Auch wollen einig Beobachter Fasern gefunden haben, welche von dem einen Sehnerven durch das Chiasma in den anderen übergehen.

In der Augenhöhle liegen ferner sechs zur Bewegung des Augapfels 28
timmte Muskeln, nämlich

1) der innere gerade *i* und

2) der äufsere gerade *a*. Beide entspringen am Umfange des *Foramen*
*ticum* in der Spitze der Augenhöhle, und setzen sich an die innere und
sere Seite des Augapfels. Sie drehen ihn um seine verticale Axe.

3) Der obere gerade in *Fig. 30* rechts weggenommen, um den Seh-
rven zu zeigen, links mit *s* bezeichnet, und

4) der untere gerade, welcher ebenso auf der unteren Seite der Orbita
gt, wie der obere hier auf der oberen sichtbar ist. Sie entspringen eben-
ls vom Umfange des *Foramen opticum* und heften sich an die obere und
tere Seite des Augapfels. Sie drehen ihn um eine horizontale Axe,
lche von der Nasenseite und etwas nach vorn herübergeht nach der
hläfenseite und etwas nach hinten, und in *Fig. 30* mit *D D* bezeichnet
t. Diese Axe bildet einen Winkel von etwa 70° mit der Axe des Auges *A*.

5) Der obere schiefe Muskel *t* entspringt vom Rande des *Foramen*
*ticum*, läuft an der inneren oberen Seite der Augenhöhle nach vorn, seine
hne geht durch eine kleine Schleife *u* (*trochlea*), die am oberen vorderen
ande der Augenhöhle befestigt ist, biegt hier um und heftet sich an die
bere Seite des Augapfels, bei *C*. Der Muskel übt einen Zug in Richtung
iner Sehne aus.

6) Der untere schiefe Muskel, in der Figur nicht sichtbar, entspringt
m inneren vorderen Umfange der Augenhöhle, läuft unter dem Augapfel
ch der Schläfenseite herüber und befestigt sich am äufseren hinteren Um-
nge des Augapfels. Die Drehungsaxe *B B* für die schiefen Augenmuskeln
uft ebenfalls horizontal von aufsen und vorn nach innen und hinten, und
det mit der Drehungsaxe des oberen und unteren geraden Muskels einen
inkel von etwa 75°, mit der Axe des Auges einen von 35°.

Durch verschiedenartig combinirte Wirkung dieser sechs Muskeln kann
die Augenaxe nach jeder beliebigen Richtung gewendet, und auch der Aug- 29
pfel um die Augenaxe gedreht werden. Wenn wir hier für je zwei Muskeln
des Paares eine gemeinschaftliche Drehungsaxe angenommen haben, so
dient diese Annahme wenigstens vorläufig als erste Annäherung erlaubt zu
en, da sie die Uebersicht der Bewegungen, welche die Augenmuskeln aus-
führen haben, sehr vereinfacht.

Nach vorn ist der Augapfel geschützt durch zwei Deckplatten, die
Augenlider (*Palpebrae*). Jedes von ihnen schliefst ein Knorpelblättchen
n, welches auf der äufseren Seite von der äufseren Haut überzogen ist,
f der inneren von einer Schleimhaut, die von dort auf den Augapfel über-
ht, Bindehaut des Auges (*Conjunctiva*). Sie ist an die weifse Sehnen-
ut des Augapfels locker angeheftet, nur am Rande der Hornhaut ver-
hmilzt sie fest mit ihr. Die Oberfläche der Bindehaut und die vordere
äche der Hornhaut werden von drei verschiedenen Secreten fortdauernd
feuchtet. Diese sind 1) das Secret der MEIBOM'schen Drüsen, welche an

der inneren Fläche der Augenlider unter der Bindehaut liegen. Ihre Ausführungsgänge öffnen sich längs der hinteren Kante der Augenlidränder. Dieses fettige Secret haftet meistens wohl nur an den Rändern der Lider und verhindert das Ueberfliefsen der wässrigen Thränen; es kann sich aber auch in öligen Tropfen über die Hornhaut verbreiten, namentlich bei starker Bewegungen der Lider. 2) Der Schleim der Schleimdrüschen der Bindehaut, welche am zahlreichsten am Rande der Falten zwischen den Lidern und dem Augapfel sich vorfinden. 3) Die Thränenflüssigkeit, abgesondert von den Thränendrüsen, von denen je zwei auf jeder Seite im oberen äufseren Theile der Augenhöhle liegen. Sie ergiessen ihr wäfsriges Secret, welches nur etwa 1 Proc. feste Substanzen enthält, durch 7 bis 10 feine Ausführungsgänge oberhalb des äufseren Augenwinkels zwischen das obere Lid und den Augapfel. Von hier verbreitet es sich über die ganze Conjunctiva, und wird am inneren Augenwinkel durch zwei feine Öffnungen, die Thränenpunkte aufgenommen, die Mündungen der beiden Thränenkanälchen, welche es in einen weiteren Kanal, *Ductus nasolacrymalis*, und endlich in die Nase führen.

Die Bindehaut des Auges ist aufserordentlich empfindlich. Jede leise Berührung eines fremden Körpers erregt Schmerz und eine unwillkürliche Bewegung der Augenlider, das Blinzeln. Dadurch und durch die fast dauernd über die Bindehaut hinsickernde Thränenfeuchtigkeit wird die vordere Fläche der Hornhaut stets rein und glänzend erhalten, was ein nothwendiges Erfordernifs für deutliches Sehen ist. Gröfsere in der Luft schwebende Staubtheilchen, Insecten u. s. w. werden aufserdem durch die Wimpern abgefangen.

# Physiologische Optik.

## § 8. Eintheilung des Gegenstandes.

Die *physiologische Optik* ist die Lehre von den Wahrnehmungen 30
durch den Gesichtssinn. Wir sehen die Objecte der Aufsenwelt durch Vermittelung des Lichts, welches von ihnen her in unser Auge fällt. Dies Licht trifft die Netzhaut, einen empfindungsfähigen Theil unseres Nervensystems, und regt in ihr Empfindungen an. Die Empfindungen, durch den Sehnerven dem Gehirne zugeleitet, werden die Veranlassung, dafs unser Bewufstsein die Vorstellung von gewissen im Raume vertheilten Gegenständen bildet.

Demgemäfs zerfällt die Lehre von den Gesichtswahrnehmungen in drei *Abschnitte*:

1. Die *Lehre von den Wegen des Lichts im Auge*. Da wir darin hauptsächlich mit Brechungen der Lichtstrahlen und nur ausnahmsweise mit spiegelnder oder diffuser Reflexion zu thun haben, können wir diesen Theil auch die *Dioptrik des Auges* nennen.
2. Die *Lehre von den Empfindungen des Sehnervenapparats*, in welcher die Empfindungen behandelt werden, ohne Bezug zu nehmen auf die Möglichkeit, äufsere Objekte durch sie zu erkennen.
3. Die *Lehre von dem Verständnisse der Gesichtsempfindungen* oder die *Lehre von den Gesichtswahrnehmungen*, welche von den Vorstellungen handelt, die wir auf Grund der Gesichtsempfindungen über die Objecte der Aufsenwelt uns bilden.

Die *physiologische Optik* unterscheidet sich also von der *physikalischen Optik* dadurch, dafs erstere die Eigenschaften und Gesetze des Lichts nur in so fern behandelt, als sie zu den Gesichtswahrnehmungen in Beziehung stehen, während die physikalische Optik die Eigenschaften und Gesetze des Lichts untersucht, welche ihm unabhängig vom menschlichen Auge zukommen. Wenn die letztere auf das Auge Rücksicht nimmt, so benutzt sie es nur als experimentelles Hülfsmittel, als das bequemste Reagens, um das Dasein und die Verbreitung des Lichts zu erkennen und Licht verschiedener Art zu unterscheiden.

Resultate der physikalischen Optik
... den kurzen Abriss der wesentlichen
... physiologische Optik von Wichtig-
... kalischen Begriffe, mit denen wir in

... Physiker als eine eigenthümliche Be-
... des Lichtäthers, angesehen, und wir
... theorie, die sehr vollständig von
... schliefsen.

... theilchen längs eines Lichtstrahls, welche
... zu Grunde legt, versinnlicht man sich
... Faden oder eine feine Kette $AB$
... oberen Ende bei $A$ mit der Hand fafst,
... und nun die Hand seitlich hin und her
... sich dann zu einer Wellenlinie, wie sie
... der Figur angedeutet ist, welche Wellen-
... zum unteren Ende herabläuft. Bei den
... Fadens von oben nach unten fortpflanzen,
... des Fadens immer in gleicher Höhe über
... entweder in geraden Linien von rechts nach
... hinten hin und her schwanken, oder auch in
... oder elliptischen Bahnen um seine mittlere
... bewegen kann, je nachdem sich die Hand,
... von rechts nach links, oder von vorn nach
... krummen Linien bewegt.

Bewegung der einzelnen Theile des Fadens würde
... von Äthertheilchen sein, längs welcher sich
... Jedes einzelne Theilchen des Äthers bleibt
... seiner ursprünglichen Ruhelage, und bewegt
... gekrümmten Bahnen um diese. Was sich als
... nicht die Äthertheilchen selbst, sondern nur die
... sie sich während ihrer Bewegung ordnen, mit
... Abwechselungen (Phasen) von Ausweichung und

... Äthertheilchen bei der Lichtbewegung liegen in
... recht gegen die Fortpflanzungsrichtung der Wellen
... serem Faden, wo die Wellen in verticaler Rich-
... laufen, und jeder einzelne Theil des schwin-
... über dem Boden eine horizontale Bahn be-
... sich die Lichtwellen von den Wellen elastischer
... Bewegung der Luft, bei welcher die Theilchen
... oscilliren.

... den Äthertheilchen in einem Lichtwellenzuge
... Licht geradlinig polarisirt; wenn die Bahn
... nennt man das Licht dagegen kreisförmig oder
... Drehung rechts oder links herum geschehen
... Strahlen, deren Schwingungsrichtungen auf ein-
... man senkrecht gegen einander polarisirt.

[illegible]liche Licht, wie es von leuchtenden Körpern ausgeht, verhält sich meist [illegible]gleichmäfsige Mischung von allen Arten verschieden polarisirten Lichts; [illegible]at solches unpolarisirt. Erst durch die Brechung und Spiegelung des [illegible]hält man Licht, in welchem eine Art der Polarisation überwiegt, oder [illegible]rkommt.

[illegible]n jedes Ätherteilchen bei der Lichtbewegung immer genau in derselben [illegible]lben Weg mit derselben Geschwindigkeit wiederholt durchläuft, nennt man [illegible] einfach, einfarbig oder homogen, und die Zeit, in der es seinen [illegible]mal zurücklegt, heifst die Schwingungsdauer. Die auffallendste Eigen[illegible]eit durch welche sich Licht verschiedener Schwingungsdauer von einander [illegible]det, ist die Farbe. Das natürliche Licht der leuchtenden Körper ist nicht einfaches Licht von constanter Schwingungsdauer, sondern enthält [illegible]ge von einer unendlichen Menge continuirlich in einander übergehender der Schwingungsdauer. Man nennt solches Licht gemischtes oder zu[illegible]gesetztes Licht. Das weifse Licht der Sonne ist gemischtes Licht. Ein[illegible]icht kann man am besten durch Brechung in durchsichtigen Prismen aus [illegible]ischten ausscheiden, indem nach der Brechung die Wellenzüge verschiedener 32
[illegible]ngsdauer in verschiedenen Richtungen sich fortpflanzen. Wir können also [illegible]gung in einem Strahle natürlichen Lichts vergleichen mit der Bewegung, [illegible]ser Faden annehmen würde, wenn die Hand, welche ihn hält, unregel[illegible] Bewegungen sowohl der Dauer als der Richtung nach ausführt, bei denen aber nie weit von ihrer mittleren Lage entfernt.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtwellen ist aufserordentlich grofs. Weltenraum ist sie durch astronomische Beobachtungen bestimmt worden, [illegible] etwa 300 000 Kilometer in der Secunde. In durchsichtigen [illegible] geringer, und nicht ganz gleich für Licht verschiedener Schwingungs-

[illegible]stallisirten Körpern, oder solchen, deren molecularer Bau nach ver[illegible] Richtungen hin verschieden ist, doppeltbrechenden Körpern), ist [illegible]anzungsgeschwindigkeit auch für verschiedene Richtungen der Fortpflanzung [illegible] Polarisation verschieden.

[illegible]n längs der Linie *A B Fig. 31* ein einfacher, geradlinig polarisirter [illegible] sich fortpflanzt, so ordnen sich die Ätherteilchen, welche anfangs in der [illegible] *A B* lagen, in eine Wellenlinie $a_0\ b_0\ a_1\ b_1\ a_2$, welche sich mit gleich[illegible] Geschwindigkeit fortschiebt, und wechselnde Ausbiegungen nach rechts und [illegible] von gleicher Länge zeigt. Die Länge von zwei solchen Ausbiegungen, [illegible] überhaupt die Entfernung je zweier entsprechender Punkte auf zwei [illegible] einander folgenden, nach gleicher Richtung hin gebogenen Theilen der [illegible] nennt man die Wellenlänge. Während nun der Gipfel des Wellen[illegible] bis $a_1$ sich fortschiebt, mufs bei *A* ein neuer Gipfel der Linie an[illegible] und das Ätherteilchen bei *A* mufs eine ganze Schwingungsdauer [illegible] Während der Zeit einer Schwingungsdauer pflanzt sich also das [illegible] Wellenlänge fort, d. h. die Wellenlänge ist gleich der Schwingungs[illegible] mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Daraus folgt, dafs bei Licht [illegible] Schwingungsdauer in durchsichtigen Mitteln verschiedener Art die [illegible] der Fortpflanzungsgeschwindigkeit proportional sein mufs, und dafs die [illegible]n in dichteren durchsichtigen Medien im Allgemeinen kleiner sind als [illegible] Raume.

Die Wellenlängen kann man mit Hülfe der Phänomene der Interferenz messen und daraus die Schwingungsdauer des betreffenden Lichts berechnen. Die Phänomene der Interferenz beruhen darauf, dafs zwei Lichtstrahlen sich gegenseitig verstärken, wenn sie gleichgerichtete Ätherbewegungen, sich aber aufheben, wenn sie entgegengesetzt gerichtete hervorbringen. Zwei Theile eines Lichtstrahls, welche nach Zurücklegung verschiedener Wege sich wieder vereinigen, verstärken sich also, wenn ihr Weg gar nicht, oder um ein, zwei, mehrere ganze Wellenlängen unterschieden sind, und sie heben sich auf, wenn die Wege um eine ungerade Zahl halber Wegelängen unterschieden sind. Aus solchen Phänomenen der Interferenz hat man nun gefunden, dafs die Wellenlängen des sichtbaren Lichtes im leeren Raume 0,00039 bis 0,00069 mm betragen, und daraus für die Zahl der Schwingungen in der Secunde 435 bis 770 Billionen gefunden. Physikalisch ist es möglich die Existenz von Aetherwellen nachzuweisen, die aufserhalb dieser Grenzen liegen, aber nicht oder kaum sichtbar sind.

Die Erschütterungen, welche ein leuchtender Punkt in einem einfach brechenden Mittel dem umgebenden Äther mittheilt, pflanzen sich von ihm aus gleichmäfsig und mit gleicher Geschwindigkeit nach allen Richtungen fort. Dadurch entsteht eine kugelförmige Ausbreitung der Welle, wobei die Excursionen der schwingenden Äthertheilchen in dem Verhältnisse abnehmen, wie der Radius der Welle wächst. Die Intensität des Lichts aber, welche dem Quadrate der Excursionen proportional zu
43 setzen ist, verhält sich demnach in verschiedenen Entfernungen umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung vom leuchtenden Punkte. Bei einer solchen räumlichen Ausbreitung der Lichtbewegung nennt man eine Fläche, in der Äthertheilchen liegen, die alle in derselben Phase der Schwingung begriffen sind, eine Wellenfläche.

Ich habe noch den Begriff des Lichtstrahls zu erörtern. Seine mathematische Definition ist die, dafs er eine auf den Wellenflächen senkrechte Linie sei; haben wir also mit kugelig sich verbreitenden Wellen zu thun, so ist er ein Radius der concentrischen Kugelflächen, und behält seine Richtung so lange bei, als die Lichtbewegung in demselben durchsichtigen Medium ungestört fortschreitet. Wenn wir nun die Bewegung der längs eines Strahls gelegenen Äthertheilchen betrachten, so ist dieselbe streng genommen allerdings nicht unabhängig von der Bewegung der Theilchen benachbarter Strahlen. Indessen haben Störungen in diesen benachbarten Bewegungen durch dunkle Körper u. s. w. unter den gewöhnlich stattfindenden Bedingungen, mit denen wir es auch namentlich im Auge allein zu thun haben, keinen beträchtlichen Einflufs auf die Bewegungen der Theile des ersten Strahls. Wir können also in solchen Fällen die Bewegung der Äthertheilchen innerhalb eines Strahls annähernd als ein abgeschlossenes mechanisches Ganze ansehen, welches unabhängig von den Bewegungen der benachbarten Strahlen von Statten geht. Dadurch wird die theoretische Untersuchung der Lichtbewegungen aufserordentlich vereinfacht und erleichtert. So sind wir denn auch im täglichen Leben gewöhnt vorauszusetzen, dafs jeder Lichtstrahl geradlinig fortschreite, ungehindert durch das, was seitlich von ihm geschieht; und in der That sind die Abweichungen von dieser Regel in den gewöhnlich vorkommenden Fällen ganz unmerklich. Diese Auflösung der kugelförmigen Ausbreitung der Lichtwellen in linear sich fortpflanzende Strahlen ist aber namentlich dann nicht erlaubt, wenn das Licht durch so kleine Öffnungen hindurch geht, dafs die Wellenlängen des Lichts nicht mehr verschwindend klein gegen deren Dimensionen sind. Dann breiten sich sehr merkliche Quantitäten des Lichts seitlich aus. Überhaupt sind

ungen kleiner Theile des Lichts von dem geraden Wege (Diffraction) überall bemerken, wo Licht an dem Rande undurchsichtiger Körper vorbeigeht. In Fällen muſs man auf die Bewegung der ganzen Lichtwellen zurückgehen. Phänomene zu erklären. Für die Physik des Auges können wir dagegen wegung des Lichts unbedenklich als geradlinig betrachten, so lange es in homogenen Medium sich fortpflanzt.

cht und Schall unterscheiden sich in dieser Beziehung sehr auffallend, wenn igentlich nur relativ, von einander. Die Dimensionen der uns umgebenden sind meist so groſs, daſs die Lichtwellenlängen dagegen als verschwindend zu betrachten sind: deshalb bewegt sich die bei weitem gröſste Menge des nur geradlinig fort, und es erfordert die Herstellung besonderer Apparate, seitliche Ausbreitung kleinerer Theile desselben wahrzunehmen. Die Schall- sind dagegen mehrere Zoll oder Fuſs lang, und zeigen deshalb, wenn sie n festen Körpern hindurchgehen, meist eine sehr bedeutende Seitenausbreitung. issen deshalb aus den alltäglichen Wahrnehmungen, daſs wir nur in gerader sehen, aber um Ecken herum hören können. Eben deshalb dürfen wir aber die Schallbewegung nicht in Schallstrahlen auflösen wollen, wir würden uns h zu weit von den wirklichen Verhältnissen entfernen, und dasselbe ist der , daſs die Lehre von der Verbreitung des Schalls bis jetzt noch so wenig ildet werden konnte, im Vergleich zu der des Lichts. Demselben Umstande kt unser Auge die Möglichkeit, aus der Richtung der einfallenden Licht- n sehr genau auf den Ort des leuchtenden Körpers schlieſsen zu können, eim Schall nur höchst unvollkommen möglich ist. Anderseits wird auch ns durch jeden in den Weg tretenden dunklen Körper verhindert, zu sehen, nter ihm vorgeht, während das Ohr sehr wohl Töne vernehmen kann, die hm erregt werden. So hängen mit der seitlichen Ausbreitung der Wellen- genthümliche Vortheile und Nachtheile beider Sinne zusammen.

Wenn Licht auf die Grenzfläche zweier verschiedenartiger durchsichtiger Mittel 34 ... in der Regel ein Theil zurückgeworfen (reflectirt), und bleibt in dem n welchem er war; ein anderer Theil geht in das andere Medium über, wird in der Regel von seiner bisherigen Richtung abgelenkt, d. h. gebrochen ...irt. Ist die Trennungsfläche glatt (polirt), sind beide Mittel einfach ..., so wird ein auffallender Lichtstrahl nur nach einer Richtung hin zurück- ... spiegelnde Reflexion), und nur nach einer Richtung hin gebrochen. ...ennungsfläche rauh, so wird das Licht, auch wenn es nur aus einer Richtung ... nach vielen oder allen Richtungen zurückgeworfen und gebrochen, es ...streut (diffuse Reflexion und Refraction).

...rend das Licht in einem körperlichen Mittel sich fortbewegt, kann es ent- ...geschwächt bleiben, so weit es auch gehen mag; dann nennen wir das ...rchsichtig. Absolut durchsichtige Mittel giebt es vielleicht nicht auſser ...en Raume. Oder es kann das Licht allmählich geschwächt werden, und ... zweierlei Weise. Entweder nämlich wird es von kleinen fremden Körpern, ...n Stellen mit geändertem Gefüge u. s. w. diffus zurückgeworfen und ge- ... falsche innere Dispersion), dabei erscheint das Mittel trübe, und in Innern selbst erleuchtet. Oder das Licht verschwindet, ohne von seinem ...gelenkt zu werden (Absorption). Da die Absorption meistentheils die ... von verschiedener Schwingungsdauer verschieden schnell verschwinden ... wird weiſses Licht, wenn es durch absorbirende Mittel geht, meistens

farbig, und das Mittel selbst erscheint gefärbt. Farblose durchsichtige Mitte solche, welche alle leuchtenden Strahlen ungeschwächt durchgehen lassen. Die können dabei aber nichtleuchtende Strahlen absorbiren, z. B. Wärmestrahlen die brechbarsten Strahlen des Sonnenlichts, sich gegen solche also noch w färbte Mittel gegen die leuchtenden Strahlen verhalten.

Bei der Absorption der Lichtstrahlen entstehen oft chemische Wirkungen weilen wieder Licht, und wahrscheinlich immer Wärme. Wenn wieder Licht en so sendet jeder Theil des beleuchteten Mittels Licht nach allen Seiten aus, w sich aber in der Farbe und Zusammensetzung von dem absorbirten Lichte scheidet; die Substanz wird selbstleuchtend. Man nennt dieses Selbstleu Phosphorescenz, wenn es länger dauert als die Bestrahlung, dagegen F escenz oder wahre innere Dispersion, wenn es nur so lange dauert a Bestrahlung. Bei der Fluorescenz ist das von der Substanz entwickelte Licht von gröſserer Schwingungsdauer als das einstrahlende, seine Farbe und Zusam setzung meist unabhängig von der des letzteren, es findet also eine Verläng der Schwingungsdauer (Verringerung der Brechbarkeit) statt, und es wird da möglich, das wegen seiner zu geringen Schwingungsdauer nicht sichtbare oder sichtbare Licht dem Auge sichtbar zu machen, indem man es auf eine fluoresci Substanz (saures schwefelsäures Chinin, Uranglas, Aufguſs von Roſskastanien Bernstein u. s. w.) fallen läſst, wobei es durch Fluorescenz Licht gröſserer Schwing dauer erzeugt.

---

# Erster Abschnitt.

## Die Dioptrik des Auges.

### § 9. Gesetze der Brechung in Systemen kugeliger Flächen.

**Der Gang** der Lichtstrahlen im menschlichen Auge wird hauptsächlich 35
**durch Brechung** verändert. Es ist aber nicht blofs eine einzelne brechende **Fläche vorhanden**, sondern eine Reihe von solchen. Ich werde also die **allgemeinen** Gesetze der Lichtbrechung in einfach brechenden Mitteln und **namentlich auch** der Brechung in einer Reihe von gekrümmten Flächen, **welche die** Grundlage des vorliegenden Abschnitts bilden, vorausschicken.

An einer einzelnen brechenden Fläche ist die Lage des zurückgeworfenen **und** gebrochenen Strahls in folgender Weise bestimmt. In *Fig. 32* sei *a b* **die** Grenzfläche beider Medien, welche **man** die brechende Fläche nennt; **d e** einer der darauf fallenden Lichtstrahlen, *d e* die im Punkte *e* auf *a b* senkrecht stehende Linie, welche man **das** Einfallsloth nennt, *e h* der zurückgeworfene und *e g* der gebrochene Strahl. **Die** Ebene, welche durch das Einfallsloth **und** den einfallenden Strahl zu legen ist, **nennt** man Einfallsebene, den Winkel **zwischen** dem einfallenden Strahle und **dem** Einfallslothe den Einfallswinkel **(in der** Figur ist es der Winkel *d e f*, **mit α** bezeichnet), den Winkel zwischen

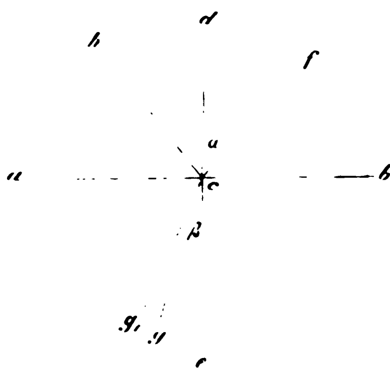


*Fig. 32.*

**dem** Einfallslothe und dem zurückgeworfenen Strahle den Reflexionswinkel 36
(in der Figur *h e d*) und denjenigen zwischen dem Einfallslothe und dem gebrochenen Strahle (*g e e* oder $\beta$) den Brechungswinkel. Bei einfach brechenden Medien ist dann die Lage des zurückgeworfenen und gebrochenen Strahls **dadurch** gegeben, dafs erstens beide in der Einfallsebene liegen, und dafs **zweitens** der Reflexionswinkel gleich dem Einfallswinkel ist, der Brechungswinkel aber von dem Einfallswinkel in der Weise abhängt, dafs ihre Sinus

sich verhalten wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichts in den betreffenden beiden Medien. Das Verhältnifs der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts im Vacuum zu der in einem gegebenen Mittel nennt man das **Brechungsverhältnifs**, **Brechungsvermögen** oder den **Brechungscoefficienten** dieses Mittels. Ist also $c$ die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Vacuum, $c_1$ in dem ersten, $c_2$ in dem zweiten Mittel, $n_1$ das Brechungsverhältnifs des ersten, $n_2$ das des zweiten Mittels, so ist

$$n_1 = \frac{c}{c_1}$$

$$n_2 = \frac{c}{c_2}$$

$$\frac{\sin \alpha}{c_1} = \frac{\sin \beta}{c_2} \text{ oder}$$

$$n_1 \,.\, \sin \alpha = n_2 \,.\, \sin \beta.$$

In der letzteren Form pflegt man gewöhnlich das Brechungsgesetz auszusprechen. Für das Vacuum ist das Brechungsverhältnifs nach der gegebenen Definition = 1, für die Luft bei gewöhnlichem Drucke so wenig davon unterschieden (nämlich 1,00029 bei 0° und 760 mm Druck), dafs man in den meisten Fällen den Unterschied vernachlässigen kann. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der verschiedenen einfachen farbigen Strahlen sind im Vacuum nicht, in den Gasarten sehr wenig, in den durchsichtigen tropfbaren und festen Körpern mehr von einander verschieden. In den letzteren pflanzen sich die Strahlen von kleinerer Schwingungsdauer (die blauen und violetten) der Regel nach langsamer fort als die von längerer Schwingungsdauer (gelbe und rothe), es sind also auch die Brechungsverhältnisse für die ersteren gröfser als für die zweiten, und man bezeichnet deshalb jene (die violetten) als die **brechbareren** Strahlen, letztere (die rothen) als die **weniger brechbaren**. Wegen dieser Verschiedenheit der Brechbarkeit schlagen denn auch die verschiedenen farbigen Theile des weifsen Lichts nach einer Brechung in tropfbaren oder festen Körpern im Allgemeinen verschiedene Wege ein, und es giebt dies ein Mittel ab, sie zu trennen. In der *Fig.* 32 ist vorausgesetzt, dafs oberhalb der brechenden Fläche sich ein dünneres, unterhalb derselben ein dichteres Medium befinde. Kommt das Licht aus dem ersteren von $f$ her, so wird der gebrochene Strahl $cg$ dem Einfallslothe $ce$ genähert werden. Für die violetten Strahlen ist die Ablenkung stärker als für die rothen. Wenn also die violetten etwa den Weg $cg$ einschlagen, geht das rothe Licht des Strahls $fc$ in der Richtung $cg_1$ fort, und trennt sich somit von den brechbareren Farben.

Im Auge haben wir es mit der Brechung des Lichts an kugeligen oder
37 nahehin kugeligen Flächen zu thun. Die Gesetze der Brechung vereinfachen sich für eine jede solche Fläche aufserordentlich, wenn das Licht nur unter sehr kleinen Einfallswinkeln, d. h. nahe senkrecht auf sie fällt. Sie vereinfachen sich auch für ein System solcher Flächen, wenn die Mittelpunkte

ugelflächen alle in einer geraden Linie, der Axe des Systems, liegen. ne von kugeligen Flächen, in denen diese letzte Bedingung erfüllt ist, man centrirt. Licht, welches ursprünglich von einem Punkte aus- gen ist, oder allgemeiner, Licht, dessen Strahlen hinreichend verlängert urch einen Punkt gehen, d. h. homocentrisches Licht, wird, nach- s durch ein solches System gegangen ist, und alle brechenden Flächen nter kleinen Einfallswinkeln getroffen hat, entweder wirklich sich in Punkt wieder vereinigen, oder doch so fortgehen, als käme es alles inem leuchtenden Punkte her, also wieder homocentrisch sein. Den renzpunkt der Lichtstrahlen nennt man in beiden Fällen das optische des ursprünglich leuchtenden Punktes, oder da Lichtstrahlen, welche em Orte des Bildes rückwärts gingen, an der Stelle des ursprünglich enden Punktes wieder vereinigt werden würden, nennt man den Ort uchtenden Punktes und den seines Bildes auch conjugirte Ver- ungspunkte der Strahlen. Man nennt ferner das optische Bild , wenn die Lichtstrahlen, welche von dem leuchtenden Punkte ausge- n sind, in ihm wirklich zur Vereinigung kommen. Dies kann nur ge- en, wenn das Bild hinter den brechenden Flächen liegt. Man nennt rtuell, wenn der Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen in ihren rück- gezogenen Verlängerungen vor der letzten brechenden Fläche liegt. zteren Falle schneiden sich also nicht die Lichtstrahlen selbst, sondern hre Verlängerungen.

onvexe Glaslinsen (Brenngläser oder Sammellinsen) geben von ent- n Gegenständen reelle r, wie *Fig. 33* zeigt; die Linse, *a* der leuch- Punkt, die einfallenden strahlen *a c* und *a d* wer- die Richtungen *c f* und en, vereinigen sich h in dem Punkte *b*, dem Punkte des reellen Bildes, und gehen nach chneidung wieder divergirend auseinander, gerade als wäre *b* ein ur- ich leuchtender Punkt.

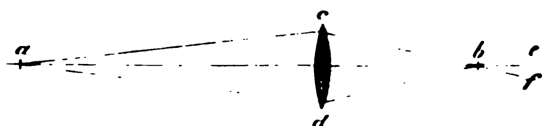


Fig. 33.

oncave Glaslinsen (Zerstreuungsgläser) geben virtuelle Bilder wie in 4 wo die Bezeichnungen dieselben sind wie in *Fig. 33*. Hier schneiden die Lichtstrahlen nicht ch, wohl aber ihre Ver- ngen in *b*, und gehen der Linse weiter, als sie von *b*, so dafs ein der Linse zwischen *f* und *e* des Auge glauben würde, uchtenden Punkt in *b* zu

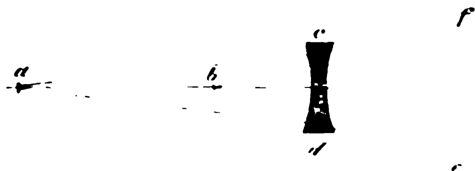


Fig. 34.

...nkte in einer gegen die Axe des brechenden ...n. und der Axe nahe genug sind, dafs ihre ... Kugelflächen unter sehr kleinen Einfalls... reellen oder virtuellen Bilder auch alle in ...echten Ebene, und ihre Vertheilung in dieser ... der Vertheilung der leuchtenden Punkte, und ...nkte einem Objecte an, so ist das optische Bild ...eometrisch ähnlich.

... Bilder von Objecten, welches zugleich den Ver... nahe entspricht, giebt unter den physikalischen ...strumenten die *Camera obscura*. Ein innen ge...schwärzter Kasten *A* enthält in seiner vorderen Wand eine verschiebbare Röhre, in welche eine oder mehrere Glaslinsen *l* eingesetzt sind. Die Rückseite des Kastens *g* besteht aus einer matten Glastafel. Wenn man die Gläser *l* gegen entfernte erleuchtete Objecte wendet, und die matte Tafel *g* beschattet, so sieht man auf ihr ein umgekehrtes, natürlich gefärbtes Bild der Objecte entworfen, welches auch bei einer richtigen ... sehr scharf gezeichnet erscheint. Die Linsen müssen ...ewählt und gestellt sein, dafs die Strahlen, welche von ... Punkte des abgebildeten Gegenstandes ausgegangen sind, ... der mattgeschliffenen Glasfläche wieder vereinigen. Dann ... der Glasfläche alles Licht, welches von dem entsprechen... abgebildeten Gegenstandes her in das Instrument gefallen ist. ... derselben Farbe und entsprechender Helligkeit er... Punkte des Objects zukommen. Dagegen fällt auf diese ... kein Licht, welches von irgend einem anderen Punkte ... ausgegangen wäre, weil solches Licht eben in anderen ... vereinigt.



... Beobachtungen bemerkt man zunächst, dafs die Bilder ungleich ... entfernter Gegenstände nicht gleichzeitig deutlich auf ... entworfen werden, dafs man vielmehr die Röhre mit den ... ziehen mufs, um nähere Gegenstände abzubilden, für ... mehr hineinschieben. Der Grund davon ist der, dafs ... entfernter Punkte auch selbst verschiedene Entfernung ... also nicht gleichzeitig genau in der Ebene der matten ...

... ferner, wenn das Instrument nur eine einfache Linse ... einen grofsen Durchmesser im Verhältnifs zur Länge des ... dafs die Ränder heller Flächen in dem Bilde farbige, meist ... Säume zeigen. Wegen der verschiedenen Brechbarkeit ... verschiedenfarbigen Lichts liegen die Vereinigungspunkte verschieden ... nicht genau in derselben Entfernung hinter der Linse, und

Die Bilder für die verschiedenen Farben decken sich nicht genau. Man nennt dies die *chromatische Abweichung*. Sie kann fast vollständig aufgehoben werden durch eine passende Verbindung von Linsen, die aus verschiedenem Stoffe bestehen. Dergleichen optische Instrumente, in welchen die chromatische Abweichung beseitigt ist, nennt man *achromatisch*.

Aber auch bei der Beleuchtung mit einfarbigem Lichte zeigen die Bilder der *Camera obscura* und anderer optischer Instrumente mit brechenden Kugelflächen bei grofsen Öffnungen der Linsen eine gewisse Ungenauigkeit der Umrisse, welche daher entsteht, dafs die durch eine kugelige Fläche gebrochenen Strahlen des abgebildeten Punktes zwar nahehin, aber doch nicht absolut genau in einen Punkt wieder vereinigt werden. Nur bei verschwindend kleinen Einfallswinkeln werden sie genau vereinigt. Diese zweite Art der Abweichung nennt man die *sphärische* oder die *Abweichung wegen der Kugelgestalt*. Instrumente, in denen sie durch passende Zusammenstellung der brechenden Flächen möglichst verringert ist, nennt man *aplanatisch*. Vollständige Aplanasie ist durch Kugelflächen im allgemeinen nicht zu erreichen, sondern dazu würde man andere gekrümmte Flächen und zwar Rotationsflächen des zweiten oder vierten Grades anwenden müssen, welche aber an optischen Instrumenten bisher noch nicht praktisch ausgeführt werden können.

Die Lage und Gröfse der optischen Bilder, welche centrirte Systeme von kugeligen brechenden Flächen entwerfen, sowie auch der Gang eines jeden durch sie hindurchgegangenen Lichtstrahls, der sämmtliche brechende Flächen unter sehr kleinen Einfallswinkeln passirt hat, ist nach verhältnifsmäfsig einfachen Regeln zu bestimmen, wenn man gewisse Punkte, die *optischen Cardinalpunkte* des Systems kennt. Es giebt drei Paare von solchen Punkten, nämlich die beiden *Brennpunkte*, die beiden *Hauptpunkte* und die beiden *Knotenpunkte*.

Man nenne die Seite des Systems, von der das Licht herkommt, die erste Seite, die, nach der es hingeht, die *zweite Seite*, das Brechungsverhältnifs des ersten Mittels sei $n_1$, das des letzten $n_2$.

Der *erste Brennpunkt* ist dadurch bestimmt, dafs jeder Strahl, der vor der Brechung durch ihn geht, nach der Brechung parallel mit der Axe wird.

Der *zweite Brennpunkt* ist dadurch bestimmt, dafs durch ihn jeder Strahl geht, der vor der Brechung parallel der Axe ist.

Der *zweite Hauptpunkt* ist das Bild des *ersten*, d. h. Strahlen, die im ersten Mittel nach dem ersten Hauptpunkt hin gerichtet sind, gehen nach der letzten Brechung durch den zweiten. Ebenen, senkrecht zur Axe durch die Hauptpunkte gelegt, heifsen *Hauptebenen*. Die zweite Hauptebene ist das optische Bild der ersten, und zwar sind es die einzigen zusammengehörigen Bilder, welche gleich grofs und gleich gerichtet sind. Durch diese Bedingung ist die Lage der Hauptpunkte bestimmt.

Der *zweite Knotenpunkt* ist das Bild des *ersten*. Ein Strahl, der im ersten Medium nach dem ersten Knotenpunkte gerichtet ist, geht nach

der Brechung durch den zweiten Knotenpunkt, und die Richtungen ( Strahls vor und nach der Brechung sind einander parallel.

Die Entfernung des ersten Hauptpunkts vom ersten Brennpunkte ist ( erste **Hauptbrennweite**. Sie wird positiv gerechnet, wenn der er Hauptpunkt im Sinne der Fortbewegung des Lichts hinter dem erst
40 Brennpunkte liegt. Ist also in *Fig. 36* $A\,B$ die Axe, und $A$ die Richtu

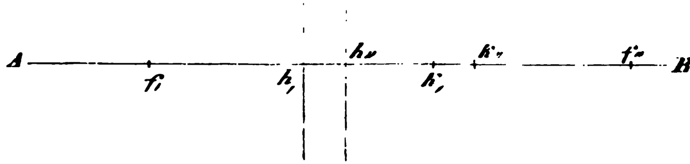



*Fig. 36.*

von welcher das Licht herkommt, $f_\prime$ der erste, $f_{\prime\prime}$ der zweite Brennpunkt, $h_\prime$ ( erste, $h_{\prime\prime}$ der zweite Hauptpunkt, $K_\prime$ der erste, $K_{\prime\prime}$ der zweite Knotenpun so ist $f_\prime\, h_\prime$ die positive erste Hauptbrennweite. Dagegen $f_{\prime\prime}\, h_{\prime\prime}$ als ( Entfernung des zweiten Brennpunkts vom zweiten Hauptpunkte, ist die zwe Hauptbrennweite, positiv gerechnet, wenn, wie in der Figur, der Brennpu hinter dem Hauptpunkte liegt.

Die Entfernung des ersten Knotenpunkts vom ersten Brennpunkte gleich der zweiten Hauptbrennweite, die des zweiten Knotenpunkts v zweiten Brennpunkte gleich der ersten Hauptbrennweite. Also:

$$\left.\begin{array}{l} f_\prime\, K_\prime \\ f_\prime\, h_\prime = f_{\prime\prime}\, K_{\prime\prime} \end{array}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots$$

Daraus folgt, dafs der Abstand der gleichnamigen Haupt- und Knotenpun von einander gleich dem Unterschiede der beiden Brennweiten sei:

$$K_\prime\, h_\prime = K_{\prime\prime}\, h_{\prime\prime} = f_{\prime\prime}\, h_{\prime\prime} - f_\prime\, h_\prime \ldots\ldots\ldots$$

und dafs aufserdem der Abstand der beiden Hauptpunkte von einander gle sei dem Abstande der beiden Knotenpunkte von einander:

$$h_\prime\, h_{\prime\prime} = K_\prime\, K_{\prime\prime} \ldots\ldots\ldots\ldots$$

Endlich verhalten sich die beiden Hauptbrennweiten zu einander wie Brechungsverhältnisse des ersten und letzten Mittels:

$$\frac{f_\prime\, h_\prime}{n_1} = \frac{f_{\prime\prime}\, h_{\prime\prime}}{n_2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

Ist also das letzte Mittel dem ersten gleichartig und $n_1 = n_2$, wie es den meisten künstlichen optischen Instrumenten, nicht aber beim Auge Fall ist, so sind die beiden Hauptbrennweiten gleich, und es fallen gleichnamigen Hauptpunkte und Knotenpunkte zusammen, nach Gleichung

Die ersten Brenn-, Haupt- und Knotenpunkte beziehen sich nach gegebenen Definitionen stets auf den Gang der Strahlen im ersten Medi die zweiten auf den Gang im letzten Medium.

Legt man senkrecht zur Axe Ebenen durch die beiden Brennpunkte, eißen diese **Brennebenen**. Lichtstrahlen, welche von einem Punkte rsten Brennebene ausgegangen sind, sind nach der Brechung unter der parallel, und da nach der Definition der Knotenpunkte der vom tenden Punkte nach dem ersten Knotenpunkte gerichtete Strahl nach Brechung seiner ursprünglichen Richtung parallel sein soll, so müssen strahlen, die von einem leuchtenden Punkte in der ersten Brennebene gangen sind, jenem Strahle nach der Brechung parallel sein.

strahlen, welche im ersten Mittel unter einander parallel sind, vereinigen 11 n einem Punkte der zweiten Brennebene, und da derjenige von den elen Strahlen, welcher durch den ersten Knotenpunkt geht, nach der ung vom zweiten Knotenpunkte aus seiner früheren Richtung parallel r geht, so mufs der Vereinigungspunkt der parallelen Strahlen da liegen, ieser letztere Strahl die zweite Brennebene schneidet.

Diese Regeln genügen, um in jedem Falle, wenn der Weg eines Strahls im Medium gegeben ist, seinen Weg nach der letzten Brechung zu finden, und ein leuchtender Punkt im ersten Medium gegeben ist, den Ort seines Bildes der letzten Brechung zu finden.

: bekannt der Weg eines Strahls im ersten Medium; man soll seinen Weg im letzten Medium suchen.

In *Fig*. 37, deren hier nicht angegebene Bezeichnungen mit denjenigen von .. übereinstimmen, sei $a$ der Punkt, wo der Strahl die erste Brennebene schnei- . . r Punkt, wo er die erste Hauptebene schneidet, wobei im allgemeinen die : Punkte $a$ und $b$ nicht in einer Ebene mit der Axe des Systems $AB$ liegen

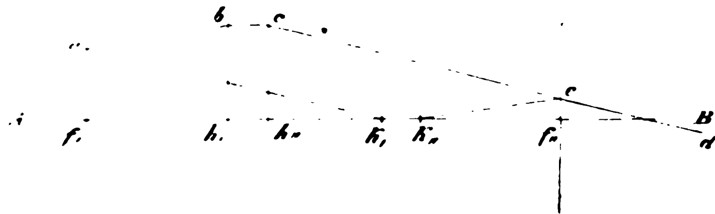



*Fig.* 37.

: Das Bild des Punktes $b$ liegt in der zweiten Hauptebene, da die eine Haupt- .. Bild der anderen ist; und da ferner in diesem Falle das eine Bild dem an- . . . h und gleich gerichtet sein soll, so liegt das Bild des Punktes $b$ der ersten . . . n $c$, dem Fufspunkte des von $b$ auf die zweite Hauptebene gefällten . . . Jeder Lichtstrahl, der von $b$ ausgeht, oder durch $b$ hindurchgeht, mufs . h der Brechung durch $c$ gehen, als dem Bilde von $b$. So auch die . ung des Strahls $ab$.

. . . ens geht der Strahl $ab$ durch den Punkt $a$ der ersten Brennebene. Jeder . welcher von einem Punkte der ersten Brennebene ausgeht, ist nach den . . . lten Regeln nach der Brechung parallel dem Strahle, welcher von Punkte $a$ nach dem ersten Knotenpunkte geht. Also mufs der Strahl $ab$ der Brechung durch $c$ gehen und parallel $aK_1$ sein. Man ziehe $cd$ parallel . . . $cd$ der gebrochene Strahl.

Nach dem, was ich vorher über die Eigenschaft der zweiten Brennebene sagt habe, können wir auch so verfahren. Man fälle das Loth $b\,c$ auf die z Hauptebene, ziehe $K_{,,}\,e$ parallel $a\,b$, welches in $e$ die zweite Brennebene schn so ist $c\,e$ der gebrochene Strahl. Dafs dieser mit $c\,d$ zusammenfällt, läfst leicht zeigen.

42 Es sei $a$ *Fig.* 38 ein leuchtender Punkt; es soll sein Bild gefunden werden.

Man braucht nur zwei Strahlen von $a$ aus nach der ersten Hauptebe ziehen, und deren Weg nach der Brechung zu construiren. Wo sie sich schne liegt das Bild vo Wenn $a$ aufserhalb Axe liegt, ist es a quemsten, den mit Axe parallelen Stral und den nach dem Knotenpunkte geh $a\,K_{,}$ zu benutzen. $c$ der Punkt ist, w erstere Strahl die Hauptebene schneidet, so ziehe man $c\,f_{,,}$ und verlängere es rückwärts ode wärts hinreichend, bis es die durch $K_{,,}$ mit $a\,K_{,}$ gelegte Parallele in $e$ schn Der Ort des Bildes ist $e$.

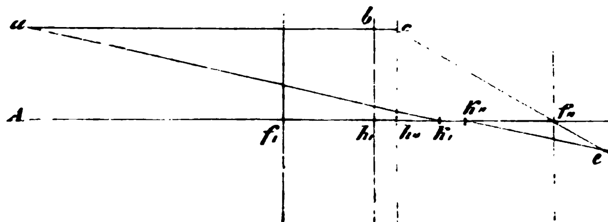


Fig. 38.

Dafs der Strahl $a\,c$ nach der Brechung längs $c\,e$ und $a\,K_{,}$ längs $K_{,,}\,e$ ergiebt sich leicht aus der vorigen Aufgabe und den obigen Definitionen.

Liegt der Punkt $a$ in der Axe, so geht einer seiner Strahlen in de selbst ungebrochen fort. Man braucht dann nur irgend einen anderen Stra construiren, der aufserhalb der Axe verläuft. Wo letzterer nach der Bre die Axe wieder schneidet, ist der Ort des Bildes.

Nachdem ich so die Resultate der mathematischen Untersuchung für diej meiner Leser vorausgeschickt habe, denen es nur auf die Kenntnifs der Re ankommt, lasse ich die vollständige mathematische Entwickelung derselbe folgen.

### Brechung an einer Kugelfläche.

Es sei $a$ der Mittelpunkt der Kugelfläche $c\,b$, und $p$ ein aufserhalb der liegender leuchtender Punkt. Ein von $p$ ausgehender Lichtstrahl, welcher i geraden Linie $p\,a$ auf den M punkt der Kugel zugeht, tri Kugelfläche normal, und geh halb ungebrochen weiter i Verlängerung von $a\,p$ nach Ein anderer Lichtstrahl $p\,c$ die Kugelfläche in $c$ und hier gebrochen. Unsere n Aufgabe ist, seinen Weg der Brechung zu besti

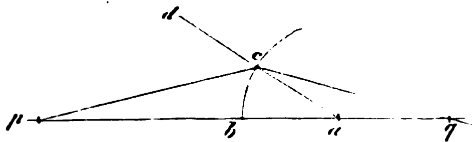


Fig. 39.

Nach dem oben angeführten Brechungsgesetze mufs derselbe zunächst in de fallsebene bleiben, d. h. in der durch den einfallenden Strahl und das Einfa

n Ebene. Da der Radius stets auf demjenigen Theile der Kugeloberfläche, lchem er hingeht, senkrecht steht, so ist in diesem Falle das Einh $c\,d$ die Verlängerung des Radius $a\,c$, und die Einfallsebene die durch $p\,c$ $d$ gelegte. In derselben liegt auch die ganze Linie $pq$, da zwei ihrer $p$ und $a$ darin liegen. Der gebrochene Strahl mufs also die Linie $p\,a$, ne nach beiden Seiten in das Unendliche verlängert gedacht wird, in irgend Punkte $q$ schneiden, dessen Entfernung von $b$ zunächst bestimmt werden Sollte der Strahl der Linie $p\,a$ parallel sein, so können wir den Durchpunkt $q$ als unendlich entfernt betrachten.

ie Lage des Punktes $q$ wird nun durch die Bedingung gegeben, dafs

$$n_1 \,.\, sin\,(p\,c\,d) = n_2 \,.\, sin\,(q\,c\,a), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

das Brechungsverhältnifs des Mediums ist, aus welchem das Licht kommt. jenigen, in welches es eintritt.

n sich in geradlinigen Dreiecken die Sinus der Winkel wie die gegenüberen Seiten verhalten, ist in dem Dreiecke $a\,p\,c$

$$\frac{sin\,(p\,c\,a)}{sin\,(c\,p\,a)} = \frac{ap}{ac},$$

dem Dreiecke $a\,q\,c$

$$\frac{sin\,(q\,c\,a)}{sin\,(c\,q\,a)} = \frac{a\,q}{a\,c}.$$ 43

Venn wir die erste dieser Gleichungen durch die zweite dividiren, und dabei en, dafs der Sinus des Winkes $p\,c\,a$ gleich dem seines Nebenwinkels $p\,c\,d$ erhalten wir

$$\frac{sin\,(p\,c\,d)}{sin\,(q\,c\,a)} \cdot \frac{sin\,(c\,q\,a)}{sin\,(c\,p\,a)} = \frac{a\,p}{a\,q}.$$

. h Gleichung 1) ist

$$\frac{sin\,(p\,c\,d)}{sin\,(q\,c\,a)} = \frac{n_2}{n_1}$$

m Dreieck $p\,c\,q$ ist

$$\frac{sin\,(c\,q\,a)}{sin\,(c\,p\,a)} = \frac{c\,p}{c\,q}.$$

letzten Gleichungen geben daher

$$\frac{n_2 \,.\, c\,p}{n_1 \,.\, c\,q} = \frac{a\,p}{a\,q} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2).$$

$p$ $\infty$ wird daraus

$$n_1 \,.\, c\,q = n_2 \,.\, a\,q \,. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2a).$$

auf unendlich kleine Gröfsen

$$\frac{c\,p}{a\,p} = 1.$$

kann die Gleichung 2) leicht benutzen, um den Gang der Lichtstrahlen onstruction zu finden, wobei man denn, da im Allgemeinen der Punkt $q$ ändert, wenn dem Punkte $c$ eine andere Lage gegeben wird, findet, ichtstrahlen sich nicht genau in einem Punkte, sondern in einer krummen ischen Linie) schneiden, von der Art, wie sie in *Fig. 40* für

... einfallende Strahlen dargestellt ist. $BB$ ist hier die brechende ...
fläche, $C$ sind d...
fallenden Stra...
$GFG$ die kau...
Linie, welche
die Durchschn...
punkte je zwei...
nächst auf ei...
folgender gebro...
Strahlen gebildet
Die mittelsten St...
vereinigen sich
Spitze dieser
bei $F$.

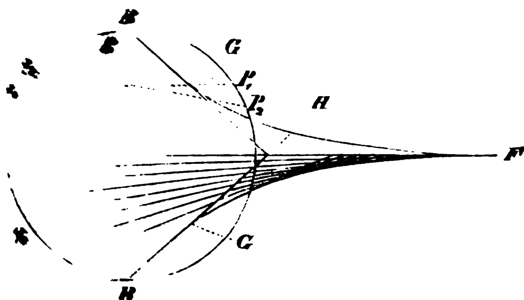


Fig. 40.

Beschränkung auf die mittleren Strahlen.

Bis hierher sind die entwickelten Gleichungen streng richtig. Von h... wollen wir uns auf diejenigen Strahlen beschränken, welche nahe senkrecht a... brechende Fläche, also sehr nahe der Axe auf sie fallen. Dann sehen w... der Fig. 39, dafs, wenn der Punkt $c$ sehr nahe an $b$ rückt, das Verhältnis $\frac{cp}{cq}$ übergeht in $\frac{bp}{bq}$. Die Gleichung 2) wird dann also

$$\frac{n_2 \cdot bp}{n_1 \cdot bq} = \frac{ap}{aq} \quad \ldots\ldots\ldots$$

Bezeichnen wir den Radius $ab$ der brechenden Fläche mit $r$, die Entf...

$bp$ mit $f_1$.
$bq$ mit $f_2$.
$ap$ mit $g_1$.
$aq$ mit $g_2$.

so dafs also

$$\left.\begin{array}{l} f_1 + r = g_1 \\ f_2 = g_2 + r \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots$$

so wird die Gleichung 2b)

$$\frac{n_2 \cdot f_1}{n_1 \cdot f_2} = \frac{f_1 + r}{f_2 - r} \text{ oder}$$

$$\frac{n_2 \cdot (g_1 - r)}{n_1 \cdot (g_2 + r)} = \frac{g_1}{g_2}.$$

Daraus erhält man durch eine leichte Umformung:

$$\left.\begin{array}{l} \frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r}, \text{ oder} \\ \frac{n_2}{g_1} + \frac{n_1}{g_2} = \frac{n_2 - n_1}{r}, \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots$$

aus denen die gesuchte Gröfse $f_2$ oder $g_2$ zu bestimmen ist.

Nennen wir die Werthe von $f_2$ und $g_2$, welche einer unendlichen Entfernung des leuchtenden Punkts entsprechen, beziehlich $F_2$ und $G_2$, so erhalten wir, da $f_1 = \infty$ und $g_1 = \infty$,

$$F_2 = \frac{n_2 \cdot r}{n_2 - n_1} \qquad G_2 = \frac{n_1 \cdot r}{n_2 - n_1} \qquad \ldots \ldots \ldots \quad 3a).$$

$F_2$ ist nach der oben gegebenen Definition die **zweite Hauptbrennweite.**

Setzen wir $f_2$ und $g_2$ unendlich grofs, und bezeichnen für diesen Fall $f_1$ und $g_1$ mit $F_1$ und $G_1$, so ist

$$F_1 = \frac{n_1 \cdot r}{n_2 - n_1} = G_2, \qquad G_1 = \frac{n_2\, r}{n_2 - n_1} = F_2. \qquad \ldots \ldots \ldots \quad 3b)$$

$F_1$ ist die **erste Hauptbrennweite.**

Jetzt können wir den Gleichungen 3) die einfache Form geben

$$\frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1, \qquad \frac{G_1}{g_1} + \frac{G_2}{g_2} = 1. \qquad \ldots \ldots \ldots \quad 3c).$$

Die erste dieser Gleichungen giebt, nach $f_1$ und nach $f_2$ aufgelöst, folgende Formeln zur Berechnung dieser Gröfsen:

$$f_1 = \frac{F_1 \cdot f_2}{f_2 - F_2} \qquad f_2 = \frac{F_2 \cdot f_1}{f_1 - F_1} \qquad \ldots \ldots \ldots \quad 3d).$$

Findet man negative Werthe dieser Gröfsen, so bedeutet es, dafs sie auf 15 der entgegengesetzten Seite der brechenden Fläche liegen, als in *Fig.* 39 angenommen ist.

Anmerkungen. 1) Wenn das Licht nicht von $p$ im ersten Medium, sondern von $q$ im zweiten ausgeht, wird für den Strahl $cq$ *Fig.* 39, der vorher der gebrochene Strahl war, jetzt der einfallende ist, $cp$ der zugehörige gebrochene sein, welcher vorher der einfallende war. Sind also die nahe senkrecht von $p$ auf die brechende Fläche fallenden Strahlen in $q$ vereinigt, so werden die von $q$ nahe senkrecht einfallenden in $p$ vereinigt werden. Daraus ergeben sich nun gleich die Gesetze für den Fall, dafs die Lichtstrahlen auf die concave Seite der Kugelfläche fallen. Man braucht nur das erste Medium jetzt das zweite zu nennen und umgekehrt, und dem entsprechend alle Indices der Buchstaben zu vertauschen. Die Gleichungen 3) werden alsdann

$$\frac{n_2}{f_2} + \frac{n_1}{f_1} = \frac{n_1 - n_2}{r}$$

$$\frac{n_1}{g_2} + \frac{n_2}{g_1} = \frac{n_1 - n_2}{r}$$

Man braucht also für eine concave brechende Fläche nur den Krümmungs-radius $r$ negativ zu setzen, so gilt auch für sie die Formel 3), und natürlich gelten eben so auch die daraus abgeleiteten 3 a), 3 b), 3 c) und 3 d).

2) Wenn $q$ das Bild von $p$ ist, ist auch $p$ das Bild von $q$. Um diese gemeinsame Beziehung auszudrücken, nennt man sie **conjugirte Vereinigungspunkte**, wobei man es zweifelhaft läfst, von welchem beider Punkte das Licht ausgeht. Ebenso ist es für die Brechungsgesetze einerlei, ob der Licht aussendende Punkt ein materieller, Licht erzeugender oder auffallendes Licht zerstreuender Punkt sei, oder nur der Vereinigungspunkt von gebrochenen Strahlen. Daher kann der leuchtende Punkt auch ein virtueller Vereinigungspunkt solcher Strahlen sein und in der Verlängerung der Strahlen hinter der brechenden Fläche liegen.

3) Wenn $r$ unendlich grofs, d. h. die brechende Fläche eben wird, so werden nach 3 a) auch die Brennweiten unendlich grofs, und die erste der Gleichungen 3 verwandelt sich in

$$\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = 0$$

oder

$$f_2 = - \frac{n_2}{n_1} \cdot f_1 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \; 3e$$

Das Bild liegt also auf derselben Seite von der brechenden Fläche, wie der Gegenstand, aber in einer anderen Entfernung.

Die Änderung der Divergenz der Strahlen.

Für die Änderung der Divergenz eines engen von einer kugeligen Fläche gebrochenen oder auch gespiegelten Strahlenbündels bei nahehin senkrechter Incidenz läfst sich ein wichtiges allgemeines Gesetz angeben, welches eigentlich am vollständigsten und zugleich am anschaulichsten das Wesen dieses Vorgangs bezeichnet. Da es bei der Spiegelung am einfachsten hervortritt, und wir im Folgenden auf die Reflexion an gekrümmten Flächen vielfach Rücksicht nehmen müssen, so will ich das Divergenzgesetz zunächst für Kugelspiegel erörtern.

Es sei $a\,a_1$ *Fig. 41* eine convexe spiegelnde Fläche und $o$ ihr Mittelpunkt. Der leuchtende Punkt $b$ werde durch die Gerade $b\,o$ mit dem Mittelpunkte der Kugel verbunden. Ein zweiter Strahl $b\,a$ treffe bei $a$ die spiegelnde Fläche. Das Einfallsloth ist in diesem Falle der verlängerte Radius $o\,a$; Einfallswinkel und Reflexionswinkel, welche beide einander gleich sind, sind beide mit $\alpha$ bezeichnet. Da der gespiegelte Strahl in derselben Ebene, wie $b\,a$ und $o\,a$, d. h. in der Ebene der Zeichnung liegen muss, so wird er passend verlängert die Linie $b\,o$ schneiden müssen; der Schnittpunkt sei $c$. Alsdann ist der Einfallswinkel Aufsenwinkel zu dem Dreieck $a\,b\,o$, folglich gleich der Summe der beiden innern gegenüberliegenden Winkel:

*Fig. 41.*

$$\alpha = \beta + \omega.$$

Der Reflexionswinkel $\alpha$ dagegen ist als Scheitelwinkel gleich dem Winkel *cao* em gleichnamigen Dreieck, und bildet in diesem mit dem Winkel $\omega$ das Paar inneren gegenüberliegenden Winkel zum Winkel $\gamma$. Also

$$\gamma = \alpha + \omega.$$

Addire ich beide Gleichungen, so hebt sich $\alpha$ fort, und es bleibt

$$\gamma - \beta = 2\,\omega \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 4)$$

Nun ist $\gamma$ der Winkel, um den der Strahl von der Axe *b o* divergirt nach Spiegelung, $\beta$ derselbe vorher. Es ist also die Divergenz des Strahls gegen Axe durch die Spiegelung um $2\,\omega$ vermehrt worden, d. h. um die doppelte rgenz des nach dem Einfallspunkt gerichteten Radius der Kugelfläche.

Diese Vermehrung der Divergenz ist nicht abhängig von der Entnung, in der der leuchtende Punkt von der Kugelfläche liegt; sie le auch dieselbe sein für alle anderen Strahlen, welche einen auf die spiegelnde he gezeichneten Kreis treffen, dessen Punkte alle dieselbe Entfernung wie *a* der Axe haben. Wenn wir uns also die Ausdehnung der spiegelnden Fläche h einen kreisförmigen Rand begrenzt denken, so würde der obige Satz für die ergenzvermehrung der Randstrahlen eines beliebigen in der Axe liegenden leuchten Punktes gelten.

Käme das Licht von *f* in der Richtung *f a* und würde nach *a b* reflectirt, wäre es in beiden Fällen convergent zur Axe und diese Convergenz würde verdert. Betrachten wir Convergenz als negative Divergenz, so wird auch diesem Falle die Divergenz durch die Spiegelung gröſser, und zwar um $2\,\omega$.

Dieselbe Kugelfläche könnte auch auf der andern Seite spiegeln, dann müſsten Verlängerungen der bisher betrachteten Strahlen für diese eintreten. Das Licht nte von *c* nach *a* gehen und nach *g* zurückgeworfen werden; $\gamma$ wäre der vergenzwinkel vor, $\beta$ nach der Spiegelung. Die Divergenz wäre um $2\,\omega$ durch Spiegelung verringert. Ginge das Licht von *g* nach *a* und *c*, so hätten wir vergentes Licht, dessen Convergenz um $2\,\omega$ vermehrt wird.

Concavspiegel also vermindern die Divergenz der Strahlen um $2\,\omega$, Convexspiegel vermehren sie um ebenso viel. Jene heiſsen deshalb auch Sammelspiegel, letztere Zerstreuungsspiegel.

Entsprechende Sätze lassen sich auch für enge Strahlenbündel aufstellen, ie von kugeligen brechenden Flächen unter kleinen Einfallswinkeln ebrochen werden, welche letztere Beschränkung bei den Kugelspiegeln nicht thig ist.

In *Fig.* 39 ist $\angle\, c\,p\,b$ der Divergenzwinkel der einfallenden Strahlen, und er als solcher kurzweg mit $p$ bezeichnet werden. $c\,q\,b$ ist der Convergenzwinkel er gebrochenen Strahlen und heiſse dem entsprechend $(-q)$; $c\,a\,b$ ist der Winkel n Mittelpunkt der brechenden Kugel, und heiſse $\omega$. Dann ist der Einfallswinkel:

$$d\,c\,p = p + \omega;$$

r Brechungswinkel

$$a\,c\,q = \omega - (-q) = \omega + q;$$

d nach dem Brechungsgesetz

$$n_1 \,.\, sin\,(p + \omega) = n_2 \,.\, sin\,(q + \omega),$$

er wenn wir die Sinus der Summen auflösen:

$$cos\,\omega \Big[\, n_1 \,.\, sin\; p \;-\; n_2 \,.\, sin\; q \,\Big] = sin\,\omega \Big[\, n_2 \,.\, cos\; q \;-\; n_1 \,.\, cos\; p \,\Big].$$

Wenn diese Winkel sehr klein sind, können wir ihre Cosinus gleich 1, ih Sinus gleich dem Bogen setzen, und erhalten

$$n_1 \cdot p - n_2 \cdot q = (n_2 - n_1) \cdot \omega \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 4$$

Das Product der Divergenzwinkel mit dem Brechungsverhältnifs des Mediu in welchem der Strahl verläuft, können wir **die optische Divergenz** der Strahl nennen. Diese wird bei der Brechung verändert um eine Gröfse $(n_2 - n_1)$. welche unabhängig von der Entfernung des leuchtenden Punktes ist.

**Die optische Divergenz der Strahlen wird vermindert, wenn d stärker brechende Medium an der concaven Seite der Kugelfläc liegt**; sie wird vergröfsert im entgegengesetzten Falle. Erstere Flächen si sammelnde, **collective**, letztere zerstreuende, **dispersive**. Man erkennt ( leicht, wenn man die Strahlen der *Fig. 39* vorwärts und rückwärts gehen lä beziehlich $n_2 < n_1$ annimmt.

Fällt man in beiden Fällen vom Einfallspunkt an der Kugelfläche ein Loth die Axe, welches mit $\varrho$ bezeichnet werde, und nennt die Entfernungen seines Fu punkts vom leuchtenden Punkte $f_1$, von seinem Bilde $f_2$, und rechnet be Gröfsen bei Linsen, wie bei Spiegeln als positiv, wenn das Licht erst den Obje punkt passirt, dann die Kugelfläche, dann das Bild: so kann der Divergenzwin der einfallenden Strahlen, wenn er sehr klein ist, durch seine Tangente $\frac{\varrho}{f_1}$ erse werden, der Convergenzwinkel der abgelenkten Strahlen durch $\frac{\varrho}{f_2}$, der Winkel durch $\frac{\varrho}{r}$. Zugleich rückt bei Verkleinerung des Winkels $\omega$ der Fufspunkt ( Lothes immer näher der Kugelfläche, so dafs $f_1$ und $f_2$ die Entfernungen v Object und Bild von der Kugelfläche werden. Dann giebt Gleichung 4) spiegelnde Kugelflächen unmittelbar

$$\frac{\varrho}{f_1} + \frac{\varrho}{f_2} = \frac{2\varrho}{r},$$

oder

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{2}{r};$$

und Gleichung 4a) ergiebt das Gesetz der Gleichung 3)

$$\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; .$$

Man kann also das Gesetz der Bildabstände unmittelbar aus dem Diverge gesetz herleiten.

Für ebene Flächen wird $\omega = 0$, also die optische Divergenz der Strahl durch Brechung und Spiegelung nicht geändert.

Abbildung flächenhafter Objecte durch eine brechende Kugelfläche.

Fig. 42.

Wenn seitwärts von dem leucht den Punkte in gleicher Entfern von der brechenden Kugelfläche u ihrem Mittelpunkte $a$ ein zwei leuchtender Punkt $s$ liegt, des Strahlen ebenfalls nur unter klei

Einfallswinkeln auf die Kugelfläche fallen, so wird dieser ein Bild ebenfalls in gleicher Entfernung hinter der Kugel und ihrem Mittelpunkte haben. Sind viele leuchtende Punkte $s$ vorhanden, die alle diesen Bedingungen entsprechen, so werden sie alle, da sie gleiche Entfernung von $a$ haben, in einer mit der brechenden Fläche concentrischen Kugelfläche liegen. Das gleiche gilt von ihren Bildern $t$. Für jeden Punkt $s$ der einen Kugelfläche findet man den Ort des Bildes $t$ dann, indem man von $s$ aus eine Gerade bis zum Krümmungsmittelpunkt $a$ zieht, und diese verlängert, bis sie die Kugelfläche der Bilder in $t$ schneidet. Dann ist $t$ das Bild von $s$. Daraus geht hervor, dafs ein solches Bild seinem Objecte geometrisch ähnlich ist.

Das Gröfsenverhältnifs zwischen Object und Bild ergiebt sich hierbei:

$$\frac{ps}{rt} = \frac{pa}{ar} = \frac{g_1}{g_2} \quad .$$

Bezeichnen wir die Gröfse des Objekts $ps = \beta_1$, und die des Bildes mit $\beta_2$, weil es umgekehrt ist, so ist demnach

$$-\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{g_1}{g_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 6)$$

Die Bedingung, dafs alle Strahlen, welche von einem der leuchtenden Punkte $s$ in die brechende Kugelfläche fallen, dies nur unter sehr kleinen Einfallswinkeln thun zu dürfen, beschränkt übrigens den deutlich abzubildenden Theil des Objects $sp$ auf einen sehr kleinen Theil der betreffenden Kugelfläche, welcher Theil sich nicht merklich von einer in $p$ senkrecht zu $pa$ errichteten, und daher die Kugelfläche $ps$ berührenden Ebene unterscheidet. Dasselbe gilt von der entsprechenden Fläche des Bildes $st$. Man kann also von der Krümmung der beiden kleinen Kugelstücke absehen, und Object, wie Bild, als gelegen in zwei sehr kleinen zur Axe senkrechten ebenen Flächen betrachten.

Aus Gleichung 6) ergiebt sich in Verbindung mit 2 c), 3 a), 3 b) und 3 c)

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{G_2}{G_1 - g_1} = \frac{G_2 - g_2}{G_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 6\,a)$$

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{F_1}{F_1 - f_1} = \frac{F_2 - f_2}{F_2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 6\,b)$$

Wenn die brechende Fläche eben ist, werden die Brennweiten unendlich und die Gleichung 6 b) verwandelt sich in

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 6\,c)$$

Das Bild, welches eine ebene brechende Fläche entwirft, ist also so grofs wie das Object.

### Brennpunkte, Hauptpunkte und Knotenpunkte der einfachen brechenden Fläche.

Die Brennpunkte sind diejenigen Punkte, in denen sich Strahlen vereinigen, die im ersten oder zweiten Mittel parallel der Axe verlaufen. Die Entfernungen der beiden Brennpunkte $F_1$ und $F_2$ von dem Scheitel der brechenden Fläche, und $G_1$ und $G_2$ von deren Mittelpunkte sind schon oben in den Gleichungen 3 a) und 3 b) 48
gefunden, und dadurch ist die Lage der Brennpunkte bestimmt.

Die **Brennebenen** sind senkrecht durch die Brennpunkte gelegene Ebenen. Da das Bild jedes Brennpunktes in unendlicher Entfernung liegt, so mufs dasselbe auch für solche Punkte der Brennebenen der Fall sein, welche der Axe nahe genug sind, um regelmäfsige Bilder geben zu können. Strahlen, die von einem Punkte einer Brennebene ausgehen, werden also nach der Brechung parallel sein.

Die **Hauptpunkte** und die durch sie senkrecht zur Axe gelegten **Hauptebenen** sind dadurch charakterisirt, dafs Bilder in den Hauptebenen liegend gleich gerichtet und gleich grofs seien. Für die Hauptebenen mufs also $\beta_1 = \beta_2$ sein. Das kann nach den Gleichungen 6 b) nur der Fall sein, wenn $f_1 = 0$ und $f_2 = 0$, was laut der Gleichungen 3 d) stets gleichzeitig der Fall sein mufs. Beide Hauptpunkte fallen also in unserem Falle zusammen in dem Punkt, wo die Axe die brechende Fläche schneidet, und dieser Hauptpunkt ist sein eigenes Bild.

Die **Knotenpunkte** sind dadurch definirt, dafs jeder Strahl, der vor der Brechung durch den ersten geht, nach der Brechung durch den zweiten geht, und dabei seiner ersten Richtung parallel bleibt. Auch diese beiden fallen in einen Punkt, nämlich den Mittelpunkt der Kugel zusammen. Denn ein Strahl, der im ersten Mittel auf den Mittelpunkt der Kugel zugeht, geht ungebrochen durch die Fläche, geht also auch im zweiten Mittel durch den Mittelpunkt, und ist seiner früheren Richtung parallel.

Die Constructionen der Richtung der Strahlen, welche S. 58 und 59 aus den Definitionen der genannten Ebenen und Punkte hergeleitet sind, lassen sich also auch auf eine einzelne brechende Fläche anwenden, und die Constructionen vereinfachen sich noch dadurch, dafs erstens jeder Punkt in der ersten Hauptebene sein eigenes Bild ist, und man nicht erst den zugehörigen in der zweiten Hauptebene zu suchen hat, und zweitens dadurch, dafs der nach dem ersten Knotenpunkte gehende Strahl unmittelbar in seiner eigenen Verlängerung weiter geht und man nicht erst eine Parallele mit ihm durch den zweiten Knotenpunkt zu legen hat.

### Verallgemeinerung des Gesetzes für die Abstände der Bilder.

Wir haben unter 3 c) zwei Gleichungen ganz ähnlicher Form aufgestellt, bei denen aber die Entfernungen der Bilder von verschiedenen Punkten aus gemessen waren. Gleichungen von derselben einfachen Form erhalten wir immer, wenn wir die Entfernungen der Vereinigungspunkte, welche dem ersten Mittel angehören, von einem beliebigen Punkte $s$ *Fig. 43* der Centrallinie $ap$ ab messen, und von dem Bilde $t$ dieses Punktes aus die Entfernungen der Vereinigungspunkte, die dem zweiten Mittel angehören.

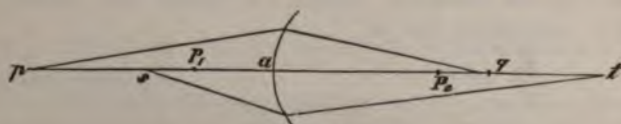


Fig. 43.

Ist also $t$ das Bild von $s$, $q$ das Bild von $p$, $P_1$ der erste, $P_2$ der zweite Hauptbrennpunkt, und bezeichnen wir

| | |
|---|---|
| $sa$ mit $f_1$, | $P_1 a$ mit $F_1$, |
| $ta$ mit $f_2$, | $P_2 a$ mit $F_2$, |
| $pa$ mit $\varphi_1$, | |
| $qa$ mit $\varphi_2$, | |

$ps$ mit $h_1$, $\qquad qt$ mit $-h_2$,
$P_1 s$ mit $-H_1$, $\qquad tP_2$ mit $-H_2$, 49

ist

$$\alpha)\quad \frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1$$
$$\beta)\quad \frac{F_1}{\varphi_1} + \frac{F_2}{\varphi_2} = 1$$
$$\gamma)\quad \varphi_1 - f_1 = h_1,$$
$$\delta)\quad \varphi_2 - f_2 = h_2,$$
$$\varepsilon)\quad F_1 - f_1 = H_1,$$
$$\zeta)\quad F_2 - f_2 = H_2.$$

Setzt man aus $\gamma$) und $\delta$) die Werthe von $\varphi_1$ und $\varphi_2$ in $\beta$), so erhält man

$$\frac{F_1}{h_1 + f_1} + \frac{F_2}{h_2 + f_2} = 1, \text{ oder}$$

$$F_1 \cdot (h_2 + f_2) + F_2 \cdot (h_1 + f_1) = (h_1 + f_1) \cdot (h_2 + f_2).$$

Subtrahirt man hiervon die aus $\alpha$) abzuleitende Gleichung

$$F_1 \cdot f_2 + F_2 \cdot f_1 = f_1 \cdot f_2,$$

so erhält man als Rest

$$F_1 \cdot h_2 + F_2 \cdot h_1 = h_1 \cdot h_2 + h_1 \cdot f_2 + h_2 \cdot f_1, \text{ oder}$$
$$(F_1 - f_1) \cdot h_2 + (F_2 - f_2) \cdot h_1 = h_1 \cdot h_2,$$

was vermöge der Gleichungen $\varepsilon$) und $\zeta$) sich verwandelt in

$$H_1 \cdot h_2 + H_2 \cdot h_1 = h_1 \cdot h_2, \text{ oder}$$

$$\frac{H_1}{h_1} + \frac{H_2}{h_2} = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 7).$$

Wenn man also als Ausgangspunkte für die Messung der Abstände irgend ein Paar zusammengehöriger Vereinigungspunkte von Lichtstrahlen benutzt, kommt man immer wieder zu derselben einfachen Formel zurück. Da in der brechenden Fläche selbst und in ihrem Mittelpunkte der leuchtende Punkt mit seinem Gegenstande zusammenfällt, sind diese beiden Punkte ihre eigenen Bilder und die Formeln 3e) sind deshalb nur spezielle Fälle von 7).

### Abstände der Bilder von den Brennpunkten.

Wenn man den Punkt $s$ in den ersten Brennpunkt verlegt, wird die Gleichung 7) unbrauchbar, weil $H_2$ und $h_2$ unendlich grofs werden. Man findet aber die entsprechende Gleichung leicht aus der ersten der Gleichungen 3d):

$$f_1 = \frac{F_1 \cdot f_2}{f_2 - F_2}.$$

Zieht man von beiden Seiten $F_1$ ab, so erhält man:

$$f_1 - F_1 = \frac{F_1 \cdot F_2}{f_2 - F_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 7a.$$

Setzen wir hier $f_1 - F_1 = l_1$, und $f_2 - F_2 = l_2$, wobei $l_1$ die Entfernun des leuchtenden Punktes vom ersten Brennpunkte aus nach vorn gerechnet, $l_2$ di Entfernung seines Bildes vom zweiten Brennpunkte aus nach hinten sein würd so erhalten wir die einfachste Form, in der sich das Gesetz für die Lage d Bilder darstellen läfst:

$$l_1 \,.\, l_2 = F_1 \,.\, F_2 \quad . \; . \; . \; . \; . \qquad . \; . \quad 7\mathrm{b}$$

In derselben Bezeichnungsweise wird das Gesetz für die Gröfse der Bilder, d Gleichung 6b)

$$\left.\begin{array}{l} \frac{\beta_1}{\beta_2} = -\frac{l_1}{F_1} \text{ oder} \\ \frac{\beta_2}{\beta_1} = -\frac{l_2}{F_2} \end{array}\right\} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 7\mathrm{c}$$

n Diese Formeln 7c) sind bei weitem die einfachsten und übersichtlichsten, denen die Gesetze der optischen Bilder ausgedrückt werden können. Wir werd im Folgenden sehen, dafs sie gleichzeitig ganz allgemein für beliebig zusamme gesetzte Systeme von centrirten, brechenden und spiegelnden Kugelflächen gelte Man sieht daraus unmittelbar, dafs Bilder collectiver Flächen umgekehrt sind, we das Object vor dem ersten Brennpunkt, das Bild also hinter dem zweiten lieg

Dagegen ist das Bild collectiver Flächen aufrecht, wenn ihr Object hinter de ersten Brennpunkt liegt, ihr Bild also vor dem zweiten.

Bei dispersiven Flächen verhält sich dies Alles umgekehrt.

### Beziehung zwischen der Gröfse der Bilder und optischen Neigung der Strahlen.

50 Es sei in *Fig. 44* $pq$ die Axe, $sp$ ein Objekt und $qr$ sein Bild. Wir woll die Winkel $\alpha_1$ und $\alpha_2$ bestimmen, welche einer der von $p$ ausgehenden Strahlen $p$ vor und nach der Brechung m der Axe macht, und diese Wink positiv rechnen, wenn der Stra sich in Richtung der als posit gerechneten Bilder von der A entfernt. Es ist also $\angle\, c$ $= \alpha_1$, $\angle\, cqa = -\alpha_2$. sei ferner, wie bisher, $sp$ = $\beta_1$, $qr = -\beta_2$, $ap =$ $aq = f_2$. Da die Einfallswinkel der Strahlen an der brechenden Fläche imm sehr klein bleiben sollen, mufs $ca$ ein sehr kleiner Bogen sein, den wir annäher als eine gegen die Axe senkrechte gerade Linie betrachten können. Wir könn also setzen

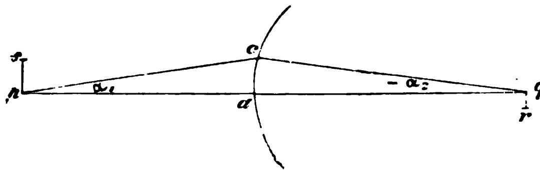


Fig. 44.

$$ac = f_1 \,.\, tg\; \alpha_1,$$
$$ac = -f_2 \,.\, tg\; \alpha_2, \text{ also}$$
$$f_1 \,.\, tg\; \alpha_1 = - f_2 \,.\, tg\; \alpha_2 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; .$$

Wir haben ferner nach 3d) und 6b):

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{F_2}{f_1 - F_1} = \frac{f_2 - F_2}{F_1}$$

vorn, negativ, wenn sie nach hinten sieht. Auch bemerke ich hier gleich ein für alle Mal, dafs, wenn von einem Strahlencentrum oder Bilde gesprochen wird, welches in einem gewissen brechenden Mittel liege, oder diesem angehöre, darunter auch stets der Fall mitverstanden ist, wo das Bild potentiell ist, und erst durch Verlängerung der Strahlen über die Grenzen des Mittels hinaus entstehen würde.

Zunächst wissen wir aus der bisherigen Untersuchung, dafs homocentrische Strahlen, welche unter kleinen Einfallswinkeln auf kugelige brechende Flächen fallen, homocentrisch bleiben. Daraus folgt, dafs homocentrische Strahlen, welche unter kleinen Winkeln gegen die Axe in das optische System eintreten, nach jeder Brechung homocentrisch bleiben, und ebenso aus der letzten brechenden Fläche wieder heraustreten. Wenn das einfallende Licht einer Anzahl von Vereinigungspunkten angehört, welche alle in einer kleinen auf der optischen Axe senkrechten Ebene liegen, so wissen wir ferner, dafs nach der ersten Brechung die Vereinigungspunkte wieder alle in einer auf der optischen Axe senkrechten Ebene liegen, und ihre Vertheilung der früheren geometrisch ähnlich ist. So wird es daher auch nach jeder folgenden Brechung sein, und auch das letzte Bild wird dem ursprünglichen geometrisch ähnlich sein, und wie dieses in einer auf die optische Axe senkrechten Ebene liegen.

Indem man nun das Bild, welches von der ersten brechenden Fläche entworfen ist, als den Gegenstand für die zweite betrachtet, das Bild der zweiten als den Gegenstand der dritten u. s. w., kann man ohne besondere Schwierigkeit schliefslich Gröfse und Lage des letzten Bildes berechnen. Allerdings werden aber die Formeln schon bei einer mäfsigen Zahl brechender Flächen sehr weitläufig.

Hier kommt es uns nur darauf an, einige allgemeine Gesetze zu beweisen, welche für jede beliebige Zahl brechender Flächen gültig sind, was uns für das Auge desto wichtiger ist, da dieses in den verschiedenen Schichten der Krystalllinse unendlich viele brechende Flächen enthält, die Rechnung auf dem angedeuteten Wege also doch nicht zu Ende zu führen sein würde.

## I.

Zuerst will ich zeigen, dafs das in Gleichung 7) für eine Fläche ausgesprochene Gesetz auch für beliebig viele gilt.

Es sei in *Fig. 45* die mit 1 bezeichnete brechende Fläche die erste, die mit $(m - 1)$ bezeichnete die vorletzte, die mit $m$ bezeichnete die letzte Fläche des

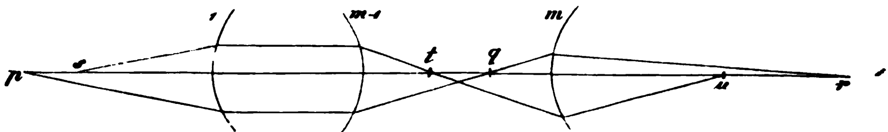



*Fig. 45.*

Systems. Wenn $s$ der Vereinigungspunkt der eintretenden Strahlen ist, sei $u$ der der austretenden, wenn $p$ der der eintretenden ist, sei $r$ der der austretenden. Wir bezeichnen $ps$ mit $h_1$, $ur$ mit $h_{m+1}$, so will ich beweisen, dafs

$$\frac{H_1}{h_1} + \frac{H_2}{h_{m+1}} = 1,$$

52 wo $H_1$ der Abstand des ersten Hauptbrennpunktes von $s$, $H_2$ der des zweiten von $u$ ist

## II.

Jedes optische System hat zwei und nur zwei zusammengehörige Vereinigungspunkte der Lichtstrahlen, in denen die Gröfse eines auf die Axe senkrechten ebenen Bildes der des zugehörigen Gegenstandes gleich wird. Wir nennen die Ebene eines solchen Gegen-
53 standes die erste und die des zugehörigen Bildes die zweite Hauptebene des Systems, und die beiden Punkte, wo sie die optische Axe schneiden, beziehlich den ersten und zweiten Hauptpunkt. Die zu den Hauptpunkten gehörigen Hauptbrennweiten sind den zugehörigen Brechungsverhältnissen des ersten und letzten Mittels proportional.

Beweis. Es sei $sp$ der abgebildete Gegenstand, $p$ ein Punkt desselben in der Axe, $s$ ein anderer seitlich davon. Wenn wir den Gegenstand längs der Axe

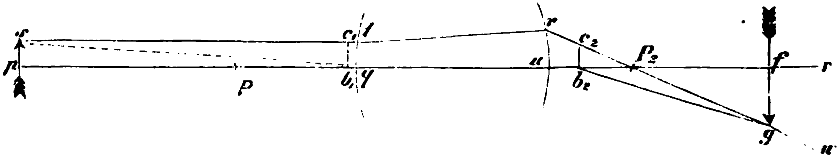



Fig. 46.

verschieben, so dafs er immer sich selbst parallel bleibt, so wird sich der Punkt $s$ in der mit der Axe parallelen Linie $st$ bewegen. Der Lichtstrahl $st$ wird also stets dem Punkte $s$ angehören, welches auch die Entfernung $pq$ sein möge. Die der Axe parallelen Lichtstrahlen werden nun durch das brechende System so gebrochen, dafs sie schliefslich durch den zweiten Hauptbrennpunkt $P_2$ gehen. Es sei $rw$ der Gang des Lichtstrahls $st$ nach der letzten Brechung. Da $st$ stets dem leuchtenden Punkt $s$ angehört, mufs $rw$ stets dem Bilde dieses Punktes angehören, d. h. das Bild von $s$ mufs in $rw$ liegen. Es sei $fg$ das Bild von $sp$, welches nach dem Vorausgeschickten senkrecht gegen die Axe $uv$ sein mufs. Wenn $p$ sich längs der Axe verschiebt, wird sich auch $f$ längs $uv$, und $g$ längs $rw$ verschieben, und es ist ersichtlich, dafs die Gröfse des Bildes $fg$ sich hierbei proportional dem Abstande $P_2 f$ ändern mufs, wie dasselbe für eine einfache brechende Fläche oben in den Gleichungen 7c) ausgesprochen ist. Da ferner aus Gleichung 8) zu ersehen ist, dafs die Entfernung $P_2 f$ jeden beliebigen Werth zwischen $+\infty$ und $-\infty$ annehmen kann, so wird auch die Gröfse des Bildes, wenn wir die eines umgekehrten Bildes negativ bezeichnen, jeden zwischen diesen Grenzen liegenden Werth und einen jeden nur einmal annehmen können. Es wird also auch seinem Gegenstande $sp$ an einer und nur an einer Stelle gleich werden müssen; es sei $c_1 b_1$ in diesem Falle der Gegenstand und $c_2 b_2$ das ihm gleiche Bild, so bezeichnen diese beiden Linien die Lage der sogenannten Hauptebenen des Systems.

### Formeln für Gröfse und Lage der Bilder bezogen auf die Hauptpunkte und Brennpunkte.

Bezeichnen wir nun

$$sp = c_2 b_2 = \beta_1,$$
$$fg = -\beta_2,$$
$$b_1 P_1 = F_1, \qquad b_1 p = f_1,$$
$$b_2 P_2 = F_2, \qquad b_2 f = f_2,$$

so ist

$$\frac{c_2 b_2}{f g} = \frac{b_2 P_2}{P_2 f} \quad \text{oder}$$

$$-\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{F_2}{f_2 - F_2};$$

nach Gleichung 8):

$$\frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 8a),$$

man entsprechend der für eine brechende Fläche geltenden Gleichung 6b) 54

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{F_2}{F_2 - f_2} = \frac{F_1 - f_1}{F_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 8b).$$

[illegible] wir die Entfernung der zusammengehörigen Bilder von den Brenn- [illegible] $l_1$ und $l_2$, so dafs also

$$l_1 = f_1 - F_1,$$
$$l_2 = f_2 - F_2.$$

[illegible] wir aus der Gleichung 8a) in derselben Weise die einfachste Form [illegible] der Lage der Bilder eines zusammengesetzten Systems, wie wir für [illegible] einzelnen Fläche aus Gleichung 3d) die 7b) erhalten haben, nämlich

$$l_1 \,.\, l_2 = F_1 \,.\, F_2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 8c),$$

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{\beta_1}{\beta_2} = -\dfrac{l_1}{F_1} \\[2ex] \dfrac{\beta_2}{\beta_1} = -\dfrac{l_2}{F_2} \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 8d).$$

Verhältnifs der beiden Brennweiten.

[illegible] das Verhältnifs der Gröfsen $F_1$ und $F_2$ zu finden, wenden wir [illegible] Gleichung 7d) ausgesprochene Gesetz auf den Strahl an, welcher vor [illegible] durch $s$ und $b_1$, *Fig. 16*, nach der Brechung also durch $b_2$ und $g$ geht. [illegible] wir die Gröfse eines in der ersten Hauptebene enthalten Bildes $\gamma_1$, [illegible] Bilder, welche bei den einzelnen Brechungen in dem Systeme ge- [illegible], $\gamma_2$, $\gamma_3$ etc. und $\gamma_{m+1}$ das in der zweiten Hauptebene nach der [illegible] entworfene. Nach der Definition der Hauptebene ist $\gamma_1 = \gamma_{m+1}$. [illegible] ferner $\alpha_1$ den Winkel zwischen dem Strahl $s b_1$ und der Axe im [illegible] $\alpha_2$, $\alpha_3$ u. s. w. in den folgenden Mitteln, $\alpha_{m+1}$ im letzten Mittel.

$$\angle s b_1 p = -\alpha_1,$$
$$\angle g b_2 f = -\alpha_{m+1}.$$

[illegible] Gleichung 7d) ist

$$n_1 \cdot \gamma_1 \cdot tg\,\alpha_1 = n_2 \cdot \gamma_2 \cdot tg\,\alpha_2,$$
$$n_2 \cdot \gamma_2 \cdot tg\,\alpha_2 = n_3 \cdot \gamma_3 \cdot tg\,\alpha_3$$

u. s. w., woraus folgt

$$n_1 \cdot \gamma_1 \cdot tg\,\alpha_1 = n_{m+1} \cdot \gamma_{m+1} \cdot tg\,\alpha_{m+1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 9),$$

[illegible] $\gamma_1 = \gamma_{m+1}$, so ist

$$n_1 \cdot tg\,\alpha_1 = n_{m+1} \cdot tg\,\alpha_{m+1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 9a).$$

Ferner ist mit Berücksichtigung der oben aufgestellten Bezeichnungen

$$sp = \beta_1 \quad = -f_1 \cdot tg\, \alpha_2,$$
$$fg = -\beta_2 = -f_2 \cdot tg\, \alpha_{m+1}, \quad \text{folglich}$$
$$\frac{n_1 \cdot \beta_1}{f_1} = -\frac{n_{m+1} \cdot \beta_2}{f_2};$$

Setzt man in diese Gleichung aus 8a) den Werth von $f_2$, so erhält man

$$\frac{n_1 \cdot \beta_1}{f_1 - F_1} = -\frac{n_{m+1} \cdot \beta_2}{F_2}$$

55 und nach 8b) ist

$$\frac{\beta_1}{f_1 - F_1} = -\frac{\beta_2}{F_1}.$$

Beide Gleichungen durch einander dividirt geben:

$$\frac{n_1}{n_{m+1}} = \frac{F_1}{F_2}, \quad . \; . \; . \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; .$$

was zu beweisen war.

### III.

In jedem optischen Systeme giebt es ein und nur ein Paar von Knot punkten, welche die Eigenschaft haben, dafs alle Lichtstrahlen, deren Rich im ersten Mittel durch den ersten Knotenpunkt geht, nach der letzten Brecl eine ihrer früheren parallele Richtung haben, und durch den zweiten Knotenp gehen. Die durch die Knotenpunkte senkrecht gegen die optische Axe gele Ebenen heifsen die Knotenebenen. Da die im ersten Knotenpunkte schneidenden Lichtstrahlen sich also nach der letzten Brechung im zweiten schnei so ist der zweite offenbar das Bild des ersten. Die zu ihnen gehörigen Br weiten verhalten sich umgekehrt wie die Brechungsverhältnisse des ersten letzten Mediums.

Wir gehen von der in der vorigen Nummer gefundenen Gleichung 9) aus

$$n_1 \cdot \gamma_1 \cdot tg\, \alpha_1 = n_{m+1} \cdot \gamma_{m+1} \cdot tg\, \alpha_{m+1} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; .$$

Wenn wir diese auf die Knotenpunkte beziehen, soll $\alpha_1 = \alpha_{m+1}$ werden. wird der Fall sein, wenn

$$n_1 \cdot \gamma_1 = n_{m+1} \cdot \gamma_{m+1}.$$

Die Lineardimensionen zweier zusammengehöriger in den Knotenebenen lie der Bilder verhalten sich also umgekehrt wie die zugehörigen Brechungsverl nisse des ersten und letzten Mittels.

Da die Bilder desselben Gegenstandes $\gamma_1$ sich verhalten wie ihre Abst vom zweiten Hauptbrennpunkte, so läfst sich dieser Abstand aus der Gröfse Bildes bestimmen. Fällt das Bild des Gegenstandes $\gamma_1$ in die zweite Hauptel so ist seine Gröfse auch gleich $\gamma_1$, sein Abstand vom Brennpunkte $F_2$; fällt e die zweite Knotenebene, so ist seine Gröfse, wie eben bewiesen,

$$\gamma_{m+1} = \frac{n_1}{n_{m+1}} \cdot \gamma_1.$$

stand vom Brennpunkte sei $G_2$, so ist

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_{m+1}} = \frac{F_2}{G_2}, \text{ also (9c)}$$

$$G_2 = \frac{n_1}{n_{m+1}} \cdot F_2 = F_1 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 10\text{a}).$$

stand zwischen der zweiten Haupt- und Knotenebene ist danach

$$a_2 = F_2 - G_2$$
$$= F_2 - F_1 .$$

te Knotenebene soll das Bild der zweiten sein. Nennen wir ihren Abstand r ersten Hauptebene $a_1$, so dafs

$$a_1 = G_1 - F_1,$$

ete die Gleichung 8a) 56

$$-\frac{F_1}{a_1} + \frac{F_2}{a_2} = 1, \text{ daher}$$

$$a_1 = a_2 = F_2 - F_1$$

$$G_1 = F_2 \text{ und} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 10\text{b})$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{n_{m+1}}{n_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 10\text{c})$$

den, die Brenn-, Haupt- und Knotenpunkte eines aus zwei anderen sammengesetzten centrirten Systems brechender Kugelflächen zu finden.

## IV.

seien gegeben zwei centrirte optische Systeme $A$ und $B$, welche die- xe haben. Es seien $p_{\prime}$ und $p_{\prime\prime}$, *Fig. 47*, die beiden Brennpunkte, $a_{\prime}$ und beiden Hauptpunkte des Systems $A$, $\pi_{\prime}$ und $\pi_{\prime\prime}$ die Brennpunkte, $\alpha_{\prime}$ und Hauptpunkte von $B$. Der Abstand des ersten Hauptpunktes $\alpha_{\prime}$ des zweiten

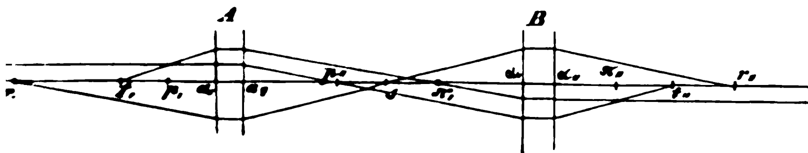


*Fig. 47.*

s vom zweiten $a_{\prime\prime}$ des ersten Systems sei $d$, und dies werde positiv gerechnet, wie in *Fig. 47*, $\alpha_{\prime}$ hinter $a_{\prime\prime}$ liegt. Die Hauptbrennweiten des ersten s $a_{\prime} p_{\prime}$ und $a_{\prime\prime} p_{\prime\prime}$ bezeichnen wir mit $f_1$ und $f_2$, die des zweiten $\alpha_{\prime} \pi_{\prime}$ und mit $\varphi_1$ und $\varphi_2$.

er erste Brennpunkt des combinirten Systems ist offenbar das Bild, das System $A$ vom ersten Brennpunkte $\pi_{\prime}$ des Systems $B$ entwirft. Ist $t_{\prime}$ Punkt, so ist klar, wie auch durch den in der Figur von $t_1$ ausgehenden angedeutet ist, dafs Strahlen, welche von $t_{\prime}$ ausgehen, nach der Brechung sten Systeme $A$ in $\pi_{\prime}$ sich vereinigen und nach der Brechung im zweiten

parallel der Axe werden müssen, so dafs also $t_{,}$ der Definition des vorderen Br punkts entspricht. Die Entfernung $a_{,,}\pi_{,}$ ist gleich $d - \varphi_{,}$; daraus ergiebt für $a_{,}t_{,}$ der Werth

$$a_{,}t_{,} = \frac{(d-\varphi_1)\cdot f_1}{d-\varphi_1-f_2} \quad \ldots\ldots\ldots$$

Ebenso ist der zweite Brennpunkt des combinirten Systems das welches das zweite System $B$ von dem zweiten Brennpunkte $p_{,,}$ des ersten Sys entwirft. Es sei $t_{,,}$ der Ort dieses Bildes, so ist

$$\alpha_{,,}t_{,,} = \frac{(d-f_1)\cdot\varphi_2}{d-\varphi_1-f_2} \quad \ldots\ldots\ldots 1$$

Die beiden Hauptpunkte des combinirten Systems sollen jeder des and Bild sein, und zwar bezieht sich der erste auf den Gang der Lichtstrahlen im e Medium, der zweite auf den im letzten. Die beiden Hauptpunkte müssen d ein beiden gemeinsames Bild in dem mittleren Medium haben, was zwischen beiden optischen Systemen vorhanden ist. Es sei dieses Bild $s$ in *Fig.* 4 und $r_{,,}$ dagegen die Hauptpunkte des combinirten Systems. Wenn $s$ das von $r_{,}$, und $r_{,,}$ das Bild von $s$ ist, so ist auch $r_{,,}$ das letzte Bild von $r_{,}$, und ersten Bedingung für die beiden Hauptpunkte geschieht dadurch Genüge.
57 zweite Bedingung für diese Punkte ist die, dafs zusammengehörige Bilder in Hauptebenen gleich grofs und gleich gerichtet seien. Es sei nun $\sigma$ die G eines Objects in $s$, $\beta_1$ sein Bild entworfen vom System $A$ in $r_{,}$, $\beta_2$ sein Bild worfen vom System $B$ in $r_{,,}$, und $x$ gleich der Länge $a_{,,}s$, $y$ gleich $s\,\alpha_1$, so ist nac

$$\frac{\beta_1}{\sigma} = \frac{f_2}{f_2 - x}$$

$$\frac{\beta_2}{\sigma} = \frac{\varphi_1}{\varphi_1 - y}.$$

Soll $\beta_1 = \beta_2$ sein, so mufs sein

$$\frac{f_2}{f_2 - x} = \frac{\varphi_1}{\varphi_1 - y} \quad \text{oder}$$

$$\frac{x}{f_2} = \frac{y}{\varphi_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\text{oder} \quad \frac{a_{,,}s}{a_{,,}p_{,,}} = \frac{\alpha_{,}s}{\alpha_{,}\pi_{,}}.$$

Um also den Punkt im mittleren Medium zu finden, dessen Bi die beiden Hauptpunkte sind, theile man die Entfernung zwischen zweiten Hauptpunkte des ersten und ersten Hauptpunkte des zw Systems in zwei Theile, welche sich verhalten wie die zu diesen Ha punkten gehörigen Hauptbrennweiten der beiden Systeme.

Da $x + y = d$ ist nach 11c)

$$\frac{x}{f_2} = \frac{d-x}{\varphi_1}$$

$$\frac{d-y}{f_2} = \frac{y}{\varphi_1}. \quad \text{Daraus folgt}$$

$$x = \frac{d \cdot f_2}{\varphi_1 + f_2}$$

$$y = \frac{d \cdot \varphi_1}{\varphi_1 + f_2}$$

em Werthe von $x$ findet man die Entfernung $a_, r_, = h_1$ des ersten Haupt- des combinirten Systems vor dem ersten Hauptpunkte des Systems $A$,

$$h_1 = \frac{x \cdot f_1}{x - f_2}$$

$$h_1 = \frac{d \cdot f_1}{d - \varphi_1 - f_2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 11d).$$

o die Entfernung $\alpha_{,,}\, r_{,,} = h_2$ des zweiten Hauptpunktes des combinirten s hinter dem zweiten Hauptpunkte des Systems $B$,

$$h_2 = \frac{\varphi_2 \cdot y}{y - \varphi_1}$$

$$h_2 = \frac{d \cdot \varphi_2}{d - \varphi_1 - f_2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 11e).$$

ergeben sich die Werthe $F_1$ und $F_2$ der Hauptbrennweiten des combinirten 58
s:

$$\left.\begin{aligned} F_1 &= a_, t_, - a_, r_, \\ &= \frac{\varphi_1 \cdot f_1}{\varphi_1 + f_2 - d} \\ F_2 &= \alpha_{,,} t_{,,} - \alpha_{,,} r_{,,} \\ &= \frac{\varphi_2 \cdot f_2}{\varphi_1 + f_2 - d} \end{aligned}\right| \quad \ldots\ldots\ldots \quad 11f).$$

.. die Haupt- und Brennpunkte gefunden, so findet man die Knoten- .. sehr leicht, da der Abstand des ersten Knotenpunktes vom ersten Brenn- gleich ist der zweiten Hauptbrennweite, der Abstand des zweiten Knoten- .. vom zweiten Brennpunkte der ersten Hauptbrennweite.

## V.

Will man nur die Knotenpunkte, nicht die Hauptpunkte suchen, .. man ein ähnliches Verfahren einschlagen wie für die Hauptpunkte, wobei .. Bedingung benutzt, dafs die linearen Dimensionen zusammengehöriger Bilder .. Knotenebenen sich umgekehrt wie die Brechungsverhältnisse der betreffenden .. verhalten.

.. wien in *Fig.* 47 jetzt $a_,$ und $a_{,,}$, $\alpha_,$ und $\alpha_{,,}$ nicht mehr die Hauptpunkte, .. die Knotenpunkte der beiden Systeme $A$ und $B$, $r_,$ und $r_{,,}$ die Knoten- .. des combinirten Systems, ihr gemeinsames Bild im mittleren Medium der .. dafs nun

$$a_, p_, = f_2 \qquad \alpha_, \pi_, = \varphi_2$$

$$a_{,,} p_{,,} = f_1 \qquad \alpha_{,,} \pi_{,,} = \varphi_1$$

$$a_{,,} s = x \qquad \alpha_, s = y.$$

Es ist

$$a_{,} r_{,} = \frac{x . f_2}{x - f_1}$$

$$\alpha_{,,} r_{,,} = \frac{y . \varphi_1}{y - \varphi_2}.$$

Ist nun $\sigma$ die lineare Gröfse eines Objects im Punkte $s$ des mittleren M $\beta_1$ die seines vom System $A$ in $r_1$ entworfenen Bildes, $\beta_2$ die seines vom Sys in $r_{,,}$ entworfenen Bildes, so ist nach den bekannten Eigenschaften der K punkte

$$\frac{\beta_1}{\sigma} = \frac{a_{,} r_{,}}{x} = \frac{f_2}{x - f_1}$$

$$\frac{\beta_2}{\sigma} = \frac{\alpha_{,,} r_{,,}}{y} = \frac{\varphi_1}{y - \varphi_2}.$$

Da nun in den Knotenebenen, wenn $n_1$ das Brechungsverhältnifs des $n_2$ des letzten, $\nu$ des mittleren Mittels ist, sein mufs

$n_1 . \beta_1 = n_2 . \beta_2$, so folgt, dafs

$$\frac{n_1 . f_2}{x - f_1} = \frac{n_2 . \varphi_1}{y - \varphi_2}.$$

59 Nun ist aber

$$n_1 . f_2 = \nu . f_1$$

$$n_2 . \varphi_1 = \nu . \varphi_2, \text{ also}$$

$$\frac{f_1}{x - f_1} = \frac{\varphi_2}{y - \varphi_2} \text{ und}$$

$$\frac{x}{f_1} = \frac{y}{\varphi_2} \text{ oder}$$

$$\frac{a_{,,} s}{a_{,,} p_{,,}} = \frac{\alpha_{,} s}{\alpha_{,} \pi_{,}}.$$

Die entsprechende Gleichung hatten wir aber auch gefunden in 11c), als v genommen hatten, dafs die Punkte $a_{,}$, $a_{,,}$, $\alpha_{,}$, $\alpha_{,,}$, $r_{,}$ und $r_{,,}$ Hauptpunkte Zur Auffindung der Knotenpunkte des combinirten Systems verfährt man als wie zur Auffindung seiner Hauptpunkte, nur dafs man dabei von den K punkten der einzelnen Systeme, nicht von den Hauptpunkten ausgeht, und den Knotenpunkten gehörigen Brennweiten nimmt.

## VI.

Wir wollen hier noch die Formeln für den einfachsten Fall schreiben, wo jedes der beiden verbundenen Systeme nur aus einzelnen Kugelfläche besteht. Es sei $r_1$ der Radius der ersten, $r_2$ d zweiten Fläche, $d$ ihr Abstand in der Axe von einander, $n_1$ das Brechungsverl des ersten, $n_2$ des zweiten, $n_3$ des dritten Mittels. Dann ist nach 3a) und

$$f_1 = \frac{n_1 . r_1}{n_2 - n_1} \qquad \varphi_1 = \frac{n_2 . r_2}{n_3 - n_2}$$

$$f_2 = \frac{n_2 \; r_1}{n_2 - n_1} \qquad \varphi_2 = \frac{n_3 . r_2}{n_3 - n_2}$$

wir der Kürze wegen

$$n_2 . (n_3 - n_2) . r_1 + n_3 . (n_2 - n_1) . r_2 - (n_3 - n_2) . (n_2 - n_1) . d = N,$$

die Hauptbrennweiten:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \frac{n_1 . n_2 . r_1 . r_2}{N} \\ F_2 &= \frac{n_2 . n_3 . r_1 . r_2}{N} \end{aligned} \right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 12),$$

fernungen der Hauptpunkte $h_1$ und $h_2$ von den Flächen:

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= \frac{n_1 . (n_2 - n_3) . d . r_1}{N} \\ h_2 &= \frac{n_3 . (n_1 - n_2) . d . r_2}{N} \end{aligned} \right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 12a),$$

Entfernung der Hauptpunkte von einander ist

$$H = d . \frac{(n_2 - n_1) . (n_3 - n_2) . (r_1 - r_2 - d)}{N} \quad \ldots \quad 12b).$$

= 0 wird $h_1 = h_2 = H = 0$

$$F_1 = \frac{n_1 . r_1 . r_2}{(n_3 - n_2) . r_1 + (n_2 - n_1) . r_2}$$

$$F_2 = \frac{n_3 . r_1 . r_2}{(n_3 - n_2) . r_1 + (n_2 - n_1) . r_2}$$

wir hierin $r_2 = r_1$, so erhalten wir 60

$$F_1 = \frac{n_1 . r_1}{n_3 - n_1}$$

$$F_2 = \frac{n_3 . r_1}{n_3 - n_1}$$

npunkte und Hauptpunkte sind dann also genau dieselben, als wäre nur chende Fläche vorhanden; das Resultat ist unabhängig von $n_2$. Daraus folgt:

einem Systeme von brechenden Kugelflächen können wir uns er brechenden Fläche eine unendlich dünne, durch concentri- ugelflächen begrenzte Schicht von beliebigem Brechungsver- se eingeschoben denken, ohne die Brechung der Strahlen da- zu ändern.

wird uns dieser Satz später zur Vereinfachung mancher Betrachtungen dienen.

## VII.

asen Endlich will ich noch die Formeln für Linsen mit zwei kuge- Begrenzungsflächen hersetzen, bei denen das erste und letzte Mittel gleich sind, also $n_1 = n_3$. Dann ergiebt Gleichung 12):

$$F_1 = F_2 = \frac{n_1 . n_2 . r_1 . r_2}{(n_2 - n_1) . [n_2 . (r_2 - r_1) + (n_2 - n_1) . d]} \quad \ldots \quad 13)$$

Die Entfernungen der Hauptpunkte, welche in diesem Falle mit den Knotenpunkten zusammenfallen, von den Linsenflächen sind nach 12a)

$$\left.\begin{aligned} h_1 &= \frac{n_1 . d . r_1}{n_2 . (r_2 - r_1) + (n_2 - n_1) . d} \\ h_2 &= - \frac{n_1 . d . r_2}{n_2 . (r_2 - r_1) + (n_2 - n_1) . d} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad 13a)$$

Die Entfernung der Hauptpunkte von einander:

$$H = d \, . \, \frac{(n_2 - n_1) . (d + r_2 - r_1)}{n_2 . (r_2 - r_1) + (n_2 - n_1) . d} \quad \ldots \quad 13b)$$

Die beiden ersten sind positiv gerechnet, wenn sie aufserhalb der Linse liegen.

Den Punkt in der Linse, dessen Bilder die beiden Knotenpunkte sind, nennt man in diesem Falle das optische Centrum der Linse. Es liegt in der optischen Axe, und seine Entfernungen von den beiden Flächen verhalten sich zu einander wie die Radien dieser Flächen.

### Substitution verschiedener optischer Systeme für einander.

Da die Resultate der Brechung in einem optischen Systeme, was Gröfse und Lage der Bilder betrifft, nur von der Lage der Brennpunkte und Hauptpunkte (oder Knotenpunkte) abhängen, so kann man ohne Aenderung der Lage und Gröfse der Bilder zwei optische Systeme für einander substituiren, deren Brennpunkte und Hauptpunkte dieselbe Lage haben. Da das Verhältnifs des Brechungsvermögens des ersten und letzten Mittels nicht geändert werden kann, ohne das Verhältnifs der Hauptbrennweiten zu einander zu ändern, wollen wir voraussetzen, dafs das erste und letzte Mittel bei einer solchen Substitution ungeändert bleiben. Dann braucht nur die eine Hauptbrennweite und der Abstand der Hauptpunkte von einander in dem einen System gleich den entsprechenden Gröfsen des anderen gemacht zu werden, um die beiden Systeme für einander substituiren zu können. In einem Systeme von nur zwei brechenden Flächen würde man zur Erfüllung dieser Bedingungen über 4 Gröfsen, $r_1$, $r_2$, $n_2$ und $d$, bestimmen können. Es kann daher für jedes centrirte System brechender Kugelflächen ein System von
61 nur zwei solchen Flächen gesetzt werden, welches eben so grofse und eben so gelegene Bilder entwirft wie jenes, und im Allgemeinen kann man dabei sogar noch immer zwei andere Bedingungen für das System von zwei Flächen aufstellen, z. B. dafs es aus einem bestimmten Stoffe zu bilden sei u. s. w., und diese gleichzeitig erfüllen.

Für den Fall, wo das erste und letzte Mittel identisch sind, beide ein kleineres Brechungsvermögen haben als das mittlere Mittel, und der Abstand der brechenden Flächen kleiner ist als die Krümmungsradien, also für die sogenannten Linsen will ich hier noch die einzelnen Fälle durchgehen, weil dergleichen Linsen eine ausgedehnte praktische Anwendung finden.

### Verschiedene Arten der Linsen.

Man unterscheidet nach der Gestalt 1) biconvexe Linsen, bei denen beide Flächen convex, also $r_1$ positiv, $r_2$ negativ ist; die Brennweite ist immer positiv nach Gleichung 13). Die Abstände der Hauptpunkte von den Flächen sind negativ, d. h. diese Punkte liegen innerhalb der Linse, und der Abstand der Hauptpunkte

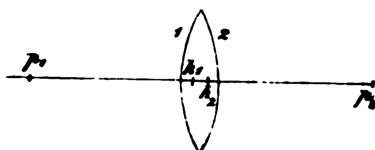


Fig. 48.

n einander ist positiv, d. h. der erste liegt r dem zweiten. In *Fig. 48* ist die Lage der npunkte $p_1$ und $p_2$ und Hauptpunkte $h_1$ und einer biconvexen Linse dargestellt. Die erste d zweite Fläche der Linse sind mit 1 und 2 zeichnet. Ein Grenzfall der biconvexen sen sind die planconvexen, bei denen einer r Radien unendlich grofs wird, und ein uptpunkt in die gekrümmte Fläche der Linse fällt.

2) Biconcave Linsen mit zwei concaven Flächen; $r_1$ ist negativ, $r_2$ positiv. ie Brennweiten sind negativ, die Abstände der Hauptpunkte von den Flächen beide gativ, d. h. die Hauptpunkte liegen innerb der Linse. Ihr Abstand ist positiv, h. der erste liegt vor dem zweiten. *Fig. 49* llt die Lage der Hauptpunkte $h_1$ und $h_2$, wie der Brennpunkte $p_1$ und $p_2$ einer convexen Linse dar. Einen Grenzfall bilden e planconcaven Linsen, bei denen einer r Radien unendlich wird und einer der uptpunkte in die gekrümmte Fläche fällt.

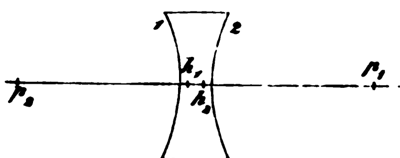


Fig. 49

3) Concavconvexe Linsen, beide Radien entweder positiv oder negativ. ir wollen das erstere annehmen; der zweite Fall ergiebt sich aus diesem sogleich, nn wir nachher die erste Seite der Linse zur zweiten machen. Die Brennweite ird positiv, wenn

$$n_2\ (r_2 + d - r_1) > n_1\ d;$$

ie wird unendlich, wenn beide Seiten der Gleichung gleich sind; sie wird negativ, nn der Ausdruck links kleiner als der rechts ist. Der Ausdruck $r_2 + d - r_1$ t der Abstand des Krümmungsmittelpunkts der zweiten Fläche von dem der ersten ch hinten gerechnet. Liegt der zweite Mittelpunkt hinter dem ersten, so wird ie Linse von ihrer Mitte nach dem Rande zu dünner; liegt jener vor dem ersten, wird sie dicker. Man kann also sagen: Wird eine concavconvexe Linse nach m Rande zu dicker, so ist ihre Brennweite negativ, und soll ihre Brennweite sitiv sein, so mufs sie nach dem Rande hin dünner werden. Aber man darf ide Sätze nicht umkehren, wie es oft geschieht.

Der erste Hauptpunkt liegt vor der convexen Fläche (d. h. an ihrer convexen ite, wenn die Brennweite positiv ist; er entfernt sich sehr weit, bis in das Unndliche, wenn die Brennweite selbst sehr grofs und unendlich wird. Wird die ennweite negativ, so liegt der erste Hauptpunkt hinter der convexen Fläche der Linse, d. h. auf ihrer concaven Seite, ebenfalls unendlich weit entfernt, wenn die 62 ennweite unendlich sein sollte.

Der zweite Hauptpunkt liegt vor der concaven Fläche der Linse, d. h. auf hrer convexen Seite, wenn die Brennweite der Linse positiv, er liegt hinter ieser Fläche, wenn die Brennweite negativ ist, und rückt ebenfalls in das Unndliche hinaus, wenn die Brennweite unendlich grofs wird. Bei einer positiven ennweite liegt der zweite Hauptpunkt immer hinter dem ersten, d. h. der Linse äher Bei einer negativen liegt er hinter dem ersten, d. h. der Linse ferner,

wenn die Linse nach ihrem Rande zu dicker wird; er liegt dagegen vor dem e wenn die Linse bei negativer Brennweite von der Mitte nach dem Rande d wird; er fällt mit ihm zusammen, die beiden Linsenflächen concentr Kugeln angehören, und zwar liegen Hauptpunkte dann in dem gemeins lichen Centrum der Kugel. *Fig. 50* eine concavconvexe Linse von po

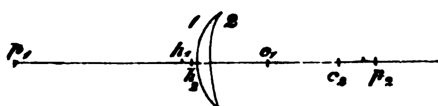


*Fig. 50.*

Brennweite dar, *Fig. 51* eine solche von negativer Brennweite, die nach dem zu dicker wird, *Fig. 5* solche von negativer I weite, welche nach dem zu dünner wird. Der mungsmittelpunkt der Fläche ist mit $c_1$, de zweiten mit $c_2$ bezeichnet. Ich bemerke noch, dafs die Brennpunkte nie in die und stets auf entgegeng Seiten derselben fallen

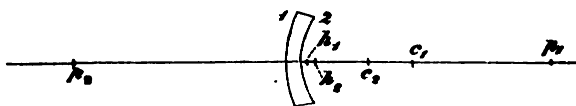


*Fig. 51.*

Was die Lage Bilder betrifft, so verei sich die Gleichung 8 8b), wenn die beiden I weiten gleich werden, in folgende:

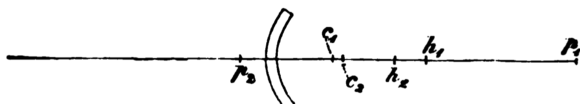


*Fig. 52.*

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}, \text{ oder} \quad \ldots\ldots\ldots$$

$$f_2 = \frac{F.f_1}{f_1 - F}, \quad \ldots\ldots\ldots$$

und

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{F}{F - f_1} = \frac{F - f_2}{F}, \quad \ldots\ldots\ldots$$

Oder, wenn wir wie oben

$$f_1 - F = l_1$$
$$f_2 - F = l_2$$

setzen, erhalten wir den Gleichungen 7c) entsprechend

$$-\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{l_1}{F} = \frac{F}{l_2} \quad \ldots\ldots\ldots$$

und

$$l_1 . l_2 = F^2 \quad \ldots\ldots\ldots$$

Hiernach ist die Brennweite $F$ der Linse in allen Fällen die mittlere g trische Proportionale zwischen den beiden Bildabständen von den Brennp $l_1$ und $l_2$. Ebendeshalb mufs von den letztern einer nothwendig gröfser s der andere kleiner sein, wenn nicht beide gleich $+F$ oder gleich $-F$ Auch ergiebt sich, dafs $l_1$ und $l_2$ immer gleichzeitig positiv oder negati ausfallen, d. h. wenn das Object vor dem ersten Brennpunkte liegt, liegt da hinter dem zweiten, und umgekehrt.

Bei Linsen mit positiver Brennweite (Sammellinsen, Convexlinsen) liegt der erste Brennpunkt vor der Linse, der zweite dahinter. Positives $l_1$ bezeichnet also eine Entfernung des Objects von der Linse, die noch gröfser als die des ersten Brennpunkts ist, während das Bild hinter der Linse weiter entfernt als der zweite Brennpunkt liegt und nach 14 c) umgekehrt ist.

Dabei ist die Entfernung $l_2$ wie die Bildgröfse $\beta_2$ umgekehrt proportional der Entfernung $l_1$ des Objects vom ersten Brennpunkte; $l_2$ wird gleich $l_1$ und $\beta_2 = -\beta_1$, wenn $l_1 = F$, d. h. das Object um die doppelte Brennweite von der Linse absteht.

Für ein negatives $l_1$, welches absolut kleiner als $F$ ist, liegt das Object zwischen ersten Brennpunkt und Linse; das virtuelle und aufrechte Bild vor der Linse, da $l_2$ nun auch negativ, aber, absolut genommen, gröfser als $F$ sein mufs; das Bild ist vergröfsert. Dies entspricht dem Falle, wo die Linse als Loupe gebraucht wird.

Für $l_1 = -F$ fallen Object und Bild gleich grofs und aufrecht im optischen Centrum der Linse zusammen.

Für $-l_1 > F$ liegt das nunmehr virtuelle Object hinter der Linse, und da nun $-l_2 < F$ sein mufs, das wieder reelle, aufrechte, verkleinerte Bild zwischen der Linse und ihrem zweiten Brennpunkte.

Für Linsen mit negativer Brennweite (Concavlinsen, Zerstreuungslinsen) liegt der erste Brennpunkt hinter der Linse, der zweite davor.

Der Fall $l_1 > (-F)$ giebt eine Lage des Objects vor der Linse. Dabei wird nach 14c) und 14d) $l_2 < (-F)$, d. h. das Bild liegt vor der Linse, ist also virtuell, aufrecht verkleinert.

Der Fall $l_1 = -F$, macht Object und Bild aufrecht und gleich grofs im Centrum der Linse zusammenfallen.

Der Fall, wo ein positives $l_1 < (-F)$, entspricht einem virtuellen Bilde hinter der Linse zwischen ihr und dem hinter ihr liegenden Brennpunkte. Dann ist $l_2 > -F$, d. h. das Bild liegt hinter der Linse, ist also reell, dabei aufrecht, und um so mehr vergröfsert, je näher das virtuelle Object an den virtuellen Brennpunkt rückt.

Endlich, wenn $l_1$ negativ wird, d. h. das virtuelle Object hinter dem virtuellen Brennpunkt liegt, wird auch $l_2$ negativ, d. h. das virtuelle Bild ist weiter vor der Linse gelegen, als ihr vorderer (zweiter) Brennpunkt, und ist umgekehrt. Das ist der Fall, der in dem Galilei'schen Fernrohre eintritt.

## § 10. Brechung der Strahlen im Auge.

Das Auge verhält sich gegen das einfallende Licht im Wesentlichen 64
wie eine *Camera obscura*. Das von einem leuchtenden Punkte ausgegangene Licht mufs, wenn dieser Punkt deutlich gesehen werden soll, durch die brechenden Mittel des Auges so gebrochen werden, dafs Alles auch wieder in einem Punkte der Netzhaut vereinigt wird. Auf der Fläche dieser Haut wird in der That ein reelles optisches Bild der äufseren gesehenen Gegenstände entworfen. Dasselbe ist umgekehrt und verkleinert. Man kann es an frisch ausgeschnittenen Augen sichtbar machen, wenn man vorsichtig den hinteren mittleren Theil der Sclerotica und Chorioidea entfernt, die Netzhaut aber stehen lafst, und nun die Hornhaut eines so präparirten Auges gegen

helle Gegenstände kehrt. Das Bild erscheint alsdann klein, hell, scharf und wie angegeben, umgekehrt auf der stehengebliebenen Netzhaut. Noch besser ist das Bildchen nach der Methode von GERLING[1] zu sehen, wenn man die Elemente der Netzhaut mit einem Pinsel entfernt, und dann ein Täfelchen von Glas oder Glimmer in die Öffnung einschiebt. Ohne viele Mühe kann man die Netzhautbildchen auch in den Augen weifser Kaninchen sehen, denen das Pigment der Aderhaut fehlt. Bei diesen braucht man nicht ein-
65 mal die harte Haut zu entfernen, sondern sieht das Bild durch sie hindurchscheinen, allerdings nicht so scharf wie bei freigelegter Netzhaut, aber doch deutlich genug, um seine Stellung, Gröfse u. s. w. zu erkennen. Auch ist es bei lebenden Menschen, namentlich bei blonden Personen mit hellblauen Augen, welche wenig Pigment in der Aderhaut zu haben pflegen, zuweilen möglich, das Bild durch die harte Haut hindurch zu sehen. Man läfst einen solchen in einem verdunkelten Zimmer das Auge so drehen, dafs die Hornhaut im äufseren Augenwinkel steht, und in dem gröfseren mittleren und inneren Theile der Augenlidspalte daher die innere Seite der weifsen Sehnenhaut erscheint. Hält man dann noch weiter seitlich, als die seitlich gekehrte Sehaxe steht, eine Kerzenflamme, so erscheint deren Bild auf der inneren Seite der Netzhaut, und schimmert oft so deutlich durch die weifse Sehnenhaut hindurch, dafs man die umgekehrte Stellung des Bildes, die Spitze der Flamme und den Ort des Dochtes erkennen kann[2].

Die genaueste Untersuchung der Netzhautbildchen im lebenden Auge des Menschen ist mittels des im § 16 zu beschreibenden Augenspiegels möglich. Mit diesem Instrumente kann man von vorn in das Auge hineinblicken, und die Netzhaut selbst mit ihren Gefäfsen, sowie die auf ihr entworfenen optischen Bilder deutlich sehen. Man überzeugt sich leicht davon, dafs von hinreichend hellen Objecten, welche das beobachtete Auge deutlich sieht, sehr scharfe und genau begrenzte optische Bilder auf der Fläche der Netzhaut entworfen werden.

Bei der Beschreibung der Netzhaut habe ich schon erwähnt, dafs im Hintergrunde des Auges sich eine eigenthümlich gebaute Stelle der Netzhaut finde, der gelbe Fleck. In seiner Mitte, der sogenannten Netzhautgrube, fehlen die Gefäfse, welche sich in den übrigen Theilen der Netzhaut verästeln; hier finden sich nur nervöse Elemente vor, und zwar von den Schichten der Netzhaut, wie es scheint, nur Körnchen und Zapfen. Diese Stelle ist in physiologischer Hinsicht von der gröfsten Wichtigkeit als die Stelle des directen Sehens. Derjenige Punkt des Gesichtsfeldes, welchen wir direct betrachten, oder mit dem Blicke fixiren, wird jedesmal an dem Orte der Netzhautgrube abgebildet. Mittels des Augenspiegels kann dieser Satz, von dessen Richtigkeit man sich schon längst wegen der besonderen Structur des gelben Flecks überzeugt hielt, auch durch directe Beobachtungen erwiesen werden. Den Ort des gelben Flecks erkennt man mit dem Augen-

[1] C. L. GERLING, *Poggendorffs Ann.* XLVI. 243. 1839.
[2] VOLCKMANN, Artikel: Sehen in WAGNERS *Handwörterbuch der Physiologie*. S. 286—289.

gel, wenn die ganze Netzhaut erleuchtet ist, an dem Mangel der Gefäſse. der Mitte der gefäſslosen Stelle, entsprechend dem Orte der Netzhautbe, findet sich eine eigenthümlich helle Stelle, welche Coccius [1] zuerst drieben hat, und deren Helligkeit er einem Reflexe der Netzhautgrube dreibt. Donders [2] hat ferner gezeigt, daſs dieser helle Reflex stets an enigen Stelle des optischen Bildes erscheint, welche das beobachtete Auge im ichtsfelde fixirt, und ich habe mich von der Richtigkeit dieser Angabe zeugt. Man kann nach der Stellung des sogenannten Reflexes der Netz- 66
grube dem beobachteten Individuum genau bezeichnen, welchen Punkt irt, und wenn man ihm Anweisung giebt, bald diesen, bald jenen Punkt Gegenstandes zu fixiren, sieht man den Reflex immer auf den entheuden Punkt des Bildes sich einstellen. Die Ausführung dieser Ver- wird in § 16 beschrieben werden.

Nur in der Gegend der Augenaxe pflegt das optische Bild auf der Netzseine volle Schärfe zu haben, von ihr entfernter ist es weniger gut nt. Wir sehen deshalb im Gesichtsfelde in der Regel nur den einen deutlich, welchen wir fixiren, alle übrigen undeutlich. Diese Undeutit im indirecten Sehen ist übrigens auch durch eine geringere Empfindit der Netzhaut bedingt; sie ist schon in geringer Entfernung von dem Punkte viel bedeutender als die objective Undeutlichkeit der Netzder. Das Auge stellt ein optisches Werkzeug von sehr groſsem Gelde dar, aber nur in einer kleinen, sehr engbegrenzten Stelle dieses tsfeldes sind die Bilder deutlich. Das ganze Feld entspricht einer ung, in der zwar der wichtigste Theil des Ganzen sorgfältig ausgeführt, ngebungen aber nur skizzirt, und zwar desto roher skizzirt sind, je sie von dem Hauptgegenstande abstehen. Durch die Beweglichkeit ges wird es aber möglich, nach einander jeden einzelnen Punkt des sfeldes genau zu betrachten. Da wir zu einer Zeit doch nur einem tande unsere Aufmerksamkeit zuwenden können, ist der eine deutlich he Punkt ausreichend, sie vollständig zu beschäftigen, so oft wir sie zelheiten lenken wollen; und wiederum ist das groſse Gesichtsfeld einer Undeutlichkeit geeignet, die Hauptzüge der ganzen Umgebung em schnellen Blicke aufzufassen, und neu auftauchende Erscheinungen Seiten des Gesichtsfeldes sogleich zu bemerken.

s Gesichtsfeld eines einzelnen Auges wird bestimmt durch die Weite pille und ihre Lage zum Rande der Hornhaut. Ich finde, daſs ich n dunklen Zimmer, wenn ich mein Auge in einem Spiegel besehe, lich ein Licht aufstelle, die Anwesenheit des Lichts so lange noch hme, als Strahlen von dem Lichte auf den gegenüberliegenden Rand pille und in diese selbst fallen. Alles Licht also, was durch die ut in die Pupille fällt, wird noch empfindliche Theile der Netzhaut Die Pupille liegt zwar etwas weiter zurück als der äuſsere Horn-

[1] Coccius, *Ueber die Anwendung des Augenspiegels.* Leipzig 1853. S. 64
[2] Donders, *Onderzoekingen gedaan in het Physiolog. Laborat. d. Utrechtsche Hoogeschool.* Jaar VI. S. 133

hautrand, aber wegen der Brechung in der Hornhaut können selbst no Strahlen zu ihr gelangen, welche senkrecht gegen die Augenaxe verlaufe auf den Rand der Hornhaut fallen, so dafs das Gesichtsfeld eines einzeln Auges etwa einer halben Kugel entspricht, eine Gröfse, welche keine künstlichen optischen Instrumente zukommt. Individuelle Verschiedenheit müssen darin vorkommen, abhängig von der Weite und Lage der Pupil Da beim Sehen für die Nähe die Pupille sich der Hornhaut nähert, wi das Gesichtsfeld dabei etwas gröfser, wie ich an meinen Augen wenigste leicht erkennen kann, wenn ich am äufsersten Rande des Gesichtsfeldes e recht helles Licht anbringe.

Ein Theil des Gesichtsfeldes jedes einzelnen Auges nach innen, obe und unten wird durch Theile des Antlitzes, Nase, Augenbrauenrand, Wangen, eingenommen, nur nach aufsen hin ist es ganz frei [1]. Beide Augen zusammen
67 überschauen aber, wenn ihre Axen parallel in die Ferne gerichtet sind, einen horizontalen Bogen von 180 oder mehr Graden, jedes einzelne bis 150°. Vergröfsert wird das überschaubare Feld noch durch die Bewegungen der Augen, auf welche wir später zurückkommen.

Die Lichtstrahlen, welche von einem entfernteren leuchtenden Punkte auf das Auge fallen, werden zuerst von der Hornhaut gebrochen, und zwar so, dafs sie ungestört weitergehend sich etwa 10 mm hinter der Netzhaut in einem Punkte vereinigen würden. Indem sie somit convergirend durch die vordere Augenkammer gehen, treffen sie auf die Krystallinse, werden von dieser noch convergenter gemacht, und können in Folge dessen nun schon auf der Netzhaut zur Vereinigung gelangen.

Die stärksten Brechungen der Lichtstrahlen geschehen an der Hornhaut, demnächst an der vorderen und hinteren Fläche der Krystallinse. Aber auch im Inneren der Krystallinse finden an den Grenzen ihrer einzelnen Schichtflächen Brechungen statt, da diese Schichten von verschiedener Dichtigkeit sind. Wir können diese verschiedenen brechenden Flächen annähernd gleichsetzen einem System von Rotationsflächen, deren Axen alle in eine gerade Linie zusammenfallen. Wenn auch kleine Abweichungen in der Lage der Axen der einzelnen Flächen bei den meisten menschlichen Augen vorzukommen scheinen, so sind diese doch so gering, dafs wir sie in Bezug auf die Lage und Gröfse der optischen Bilder vernachlässigen und das Auge im Ganzen als ein centrirtes optisches System betrachten können.

Die Axe dieses Systems, deren vorderes Ende etwa mit dem Mittelpunkte der Hornhaut zusammenfällt, während das hintere zwischen dem gelben Flecke und der Eintrittsstelle des Sehnerven hindurchgeht, nennen wir die Augenaxe.

---

[1] Instrumente zur Ausmessung der Grenzen des Gesichtsfeldes, Perimeter, werden jetzt von den Augenärzten viel gebraucht. Sie sind theils ebene Tafeln mit verschiebbaren Gesichtszeichen, vor denen der Kopf festgestellt wird, wie die von WECKER (*Zehender's Monatsbl.* 1867 p. 275) und DOR construirten, theils drehbare Gradbogen wie die von AUBERT und FÖRSTER (*Graefe's Archiv f. Ophthalmol.* III. 1857), LANDOLT (*Annali d'Ottalmologia del prof. Quaglino.* 1872. p. 1), CARTER (*Zehender's Monatsbl.* 1872), theils halbe Hohlkugeln, wie die von SCHENK (ebenda 1872. X. S. 151.)

Die Lage der **Brennpunkte, Hauptpunkte** und **Knotenpunkte** des
unterliegt wohl ziemlich bedeutenden individuellen Verschiedenheiten,
erhaupt die meisten Abmessungen des Auges und seiner einzelnen
nden Flächen bei verschiedenen Menschen so von einander abweichen,
n es bei einem Organe, dessen Wirkungen eine so grofse Genauig-
er Construction zu verlangen scheinen, kaum erwarten sollte. Aufser-
erden wir weiter unten sehen, dafs auch in jedem einzelnen Auge
Punkte ihre Lage ändern, wenn das Auge nach einander Gegenstände
chiedener Entfernung betrachtet. Man kann über die Lage der ge-
Punkte im normalen, fernsehenden Auge nur etwa so viel sicher
n: Der **erste Hauptpunkt** ist dem **zweiten Hauptpunkte** sehr
benso der **erste** dem **zweiten Knotenpunkte**. Die beiden Haupt-
des Auges liegen etwa in der Mitte der vorderen Augenkammer,
en **Knotenpunkte** sehr nahe der hinteren Fläche der Linse, der
**Brennpunkt** dicht an der Netzhaut.

es bei sehr vielen Gelegenheiten nothwendig ist, wenigstens ange-
Werthe für die einzelnen optischen Constanten des Auges zu kennen,
ich hier die Werthe anführen, welche Listing für ein schematisches
Auge gewonnen hat, indem er, den bis dahin ausgeführten Messungen
glichst anschliefsend, einfache abgerundete Zahlen für die hier in
kommenden Gröfsen wählte. Eine den neueren Messungen besser
te Berechnung eines schematischen Auges folgt in § 12.

rting nimmt an 68

| | |
|---|---|
| Brechungsvermögen der Luft gleich | 1 |
| Brechungsvermögen der wässrigen Feuchtigkeit | $\frac{103}{77}$ |
| echungsvermögen der Krystallinse | $\frac{16}{11}$ |
| echungsvermögen des Glaskörpers | $\frac{103}{77}$ |
| ummungshalbmesser der Hornhaut | 8 mm |
| ümmungshalbmesser der vorderen Linsenfläche | 10 „ |
| ümmungshalbmesser der hinteren Linsenfläche | 6 „ |
| tfernung der vorderen Hornhaut- und vorderen Linsenfläche | 4 „ |
| ke der Linse | 4 „ |

berechnet aus diesen Annahmen:

erste **Brennpunkt** liegt 12,8326 mm vor der Hornhaut, der **zweite**
**nnpunkt** 14,6470 mm hinter der Hinterfläche der Linse.

erste **Hauptpunkt** liegt 2,1746 mm, der **zweite** 2,5724 mm
r der Vorderfläche der Hornhaut, ihr gegenseitiger Abstand beträgt
78 mm

erste **Knotenpunkt** liegt 0,7580 mm, der **zweite** 0,3602 mm
der Hinterfläche der Linse.

4) Die **erste Hauptbrennweite** des Auges beträgt hiernach 15,(
die **zweite** 20,0746 mm.

Die Lage der Hauptpunkte $h_{,}$ und $h_{,,}$, Knotenpunkte $k_{,}$ und $k$
punkte $F_{,}$ und $F_{,,}$ nach LISTING ist in *Fig. 53* angegeben. Unter
n LISTING der Berechnung zu Grunde gelegten Werthen ist der Hornhautradius und das Brechungs-Vermögen der Linse etwas zu grofs angenommen. Beide nicht erheblichen Fehler

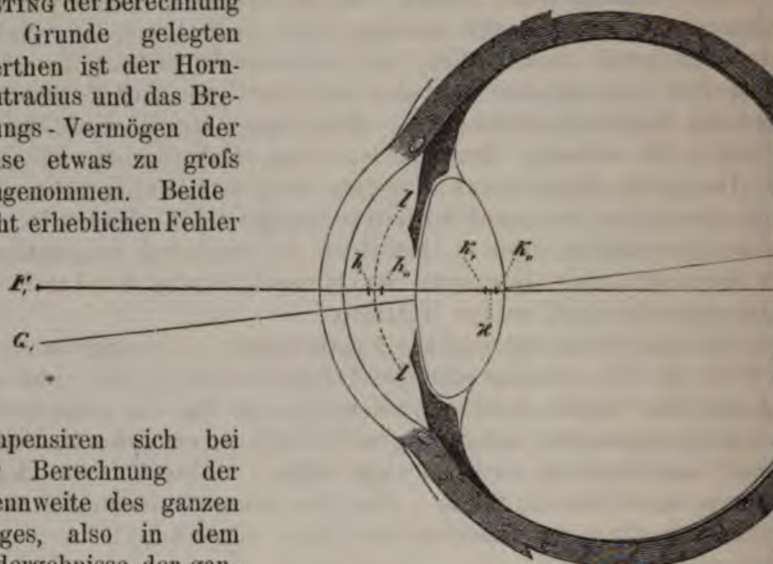



*Fig. 53.*

compensiren sich bei der Berechnung der Brennweite des ganzen Auges, also in dem Endergebnisse der ganzen Brechung. Auf die Lage der Haupt- und Knotenpunkte hat dies sehr wenig Einflu
brauchen also nicht zu zweifeln, dafs LISTING's in runden Zahlen
69 Schema mit dem natürlichen Verhältnisse wirklich so gut übere
als es bei der grofsen Breite der individuellen Unterschiede mögli

Vermittelst der angegebenen Cardinalpunkte des Auges läfst
Weg eines gegebenen einfallenden Strahls nach der letzten Brec
möge der in § 9 vorgeschriebenen Constructionen finden; ebenso
des Bildes eines beliebigen, in der Nähe der Augenaxe liegenden le
Punktes. Da übrigens sowohl die beiden Hauptpunkte des Auges,
die beiden Knotenpunkte einander sehr nahe liegen, so kann man
hebliche Beeinträchtigung der Genauigkeit des Resultats die beide
punkte in einen Punkt zusammenziehen und ebenso die beiden Knot
Man erhält dadurch ein noch mehr vereinfachtes Schema des Auges
LISTING das **reducirte Auge** nennt. Er legt den einfachen H
eines solchen Auges 2,3448 mm hinter die Vorderfläche der Horn
Knotenpunkt $\varkappa$ *Fig. 53* 0,4764 mm vor die hintere Fläche der L
Brennpunkte bleiben unverändert. Die Wirkung des reducirten Au
durch eine brechende Kugelfläche hervorgebracht werden könne
Mittelpunkt der Knotenpunkt wäre, und deren Scheitel im Hauptp
während sich vor ihr Luft, hinter ihr wässrige Feuchtigkeit oder G

bde Der Krümmungshalbmesser einer solchen Fläche würde 5,1248 mm nen. Bei vielen theoretischen Betrachtungen, wo es nur auf die Gröfse Lage der Bilder ankommt, kann man sich durch Anwendung dieses irten Schemas des Auges die Untersuchung sehr erleichtern. In *Fig. 53* ie brechende Kugelfläche des reducirten Auges durch den gestrichelten *ll*, ihr Mittelpunkt bei *x* angegeben.

In dem sehr häufig vorkommenden Falle, wo man weifs, dafs genaue ie Bilder auf der Netzhaut entworfen werden, und es nur darauf an- t, den Ort des Bildes für einen bestimmten Punkt des Gegenstandes den, genügt die Kenntnifs der Knotenpunkte. Erlaubt man sich dabei reinfachung, nur einen (und zwar als solchen am besten den zweiten) punkt anzunehmen, so findet man den Ort des Bildes, wenn man em leuchtenden Punkte eine gerade Linie nach dem Knotenpunkte und diese bis zur Netzhaut verlängert; wo sie die Netzhaut trifft, r Ort des Bildes. Eine solche gerade Linie nennt man Richtungs- les Sehens. Der einfach gedachte Knotenpunkt ist also der Kreuzungs- der Richtungslinien. Das vor der Hornhaut und das hinter der liegende Stück einer solchen Linie würde zugleich dem Wege eines en Strahls angehören, den man Richtungsstrahl nennen kann. wischen der vorderen Hornhaut- und hinteren Linsenfläche fällt der ngsstrahl nicht nothwendig mit der Richtungslinie zusammen.

'ill man die genauere Construction machen, wobei man beide Knoten- als getrennt betrachtet, so hat man zwei Richtungslinien zu unter- en Die erste geht vom leuchtenden Punkte zum ersten Knoten- ., und die zweite ist parallel mit der ersten durch den zweiten punkt zu legen. Wo letztere die Netzhaut schneidet, ist der Ort *70*
ldes. Das aufserhalb des Auges liegende Stück der ersten Richtungs- und das im Glaskörper liegende Stück der zweiten gehören wieder Vege eines Lichtstrahls an, des Richtungsstrahls.

ch nenne den Richtungsstrahl, welche die Stelle des directen Sehens die Gesichtslinie. Der vordere gerade Theil der Gesichtslinie geht on dem fixirten Punkte des Gesichtsfeldes in der Richtung des ersten npunktes, der hintere gerade Theil von dem zweiten Knotenpunkte ch der Netzhautgrube. Da man früher den gelben Fleck meist in unteren Ende der optischen Axe des Auges gelegen glaubte, hielt man sichtslinie auch für identisch mit der Augenaxe, und nannte diese auch wohl Sehaxe oder Gesichtsaxe. Nach meinen Untersuchungen ber beide merklich von einander unterschieden. Vor dem Auge liegt sichtslinie nach innen und meist etwas nach oben von der Augenaxe, etzhautgrube also nach aufsen und meist etwas nach unten von der Ich habe in *Fig. 53* die Lage der Gesichtslinie $G_1 G_2$ im horizontalen schnitte des Auges angegeben, sowie ich sie in einem gut gebildeten im Verhaltnifs zur Augenaxe $F_{,} F_{,,}$ liegen fand. Die obere Seite der ist die Schläfenseite, die untere die Nasenseite.

Um die Brechung der Lichtstrahlen in den einzelnen Mitteln des Auges zu berechnen, theilen wir uns das optische System des Auges in zwei Theile, deren ersten die Hornhaut, deren zweiten die Krystallinse ausmacht, so daſs das erste Mittel des ersten Systems Luft, das Mittel zwischen beiden Systemen, oder das letzte des ersten, das erste des zweiten Systems wässrige Feuchtigkeit, das letzte Mittel des zweiten Systems Glaskörper ist.

### Die Brechung in der Hornhaut.

Die Untersuchung der Brechung in dieser wird wesentlich vereinfacht durch den Umstand, daſs die Hornhaut sehr dünn ist, fast gleichgekrümmte Flächen hat und ihr Brechungsvermögen nur wenig das der wässrigen Feuchtigkeit übertrifft. Ich habe § 9 bei den Gleichungen 12), 12 a), 12 b) nachgewiesen, daſs man an jeder brechenden Fläche eine unendlich dünne Schicht von beliebigem Brechungsvermögen und gleichgekrümmten Flächen einschieben könne, ohne die Brechung zu verändern. Man denke sich somit vor der Hornhaut eine unendlich dünne Schicht wässriger Feuchtigkeit ausgebreitet, wie sich denn sogar in Wahrheit dort eine ähnliche Schicht befindet, nämlich die Schicht der die Hornhaut netzenden Thränen. Dann können wir nachher die Hornhaut selbst als eine uhrglasförmige Linse betrachten, welche auf beiden Seiten von dem gleichen Medium, wässriger Feuchtigkeit, umgeben ist. Eine solche Linse hat eine sehr groſse oder unendliche Brennweite, d. h. sie verändert den Gang der Lichtstrahlen nicht merklich. Daraus folgt, daſs die Brechung der Lichtstrahlen in der Hornhaut fast dieselbe sein wird, als wenn die wässrige Flüssigkeit bis an die vordere Fläche der Hornhaut reichte. Diese Annahme ist daher bis jetzt auch fast immer bei der Berechnung des Ganges der Lichtstrahlen in der Hornhaut gemacht worden, und sie ist hier nicht zu vermeiden, da wir bisher zwar gute Messungen der äuſseren Hornhautkrümmung, aber keine genügend zuverlässigen für die innere besitzen.

Sollte die bezeichnete Annahme streng gerechtfertigt sein, so müſste nach § 9 Gleichung 13) sein

$$n_2 \cdot (r_2 - r_1) + (n_2 - n_1) \cdot d = 0,$$

wo $n_1$ das Brechungsvermögen der wässrigen Feuchtigkeit, $n_2$ das der Hornhaut, $d$ die Dicke, $r_1$ den Krümmungshalbmesser der vorderen, $r_2$ der hinteren Fläche
71 der Hornhaut bezeichnet. Diese Gleichung kann nun in der That auf die Hornhaut nicht wohl passen. Wenn wir sie schreiben:

$$(r_2 + d) - r_1 = \frac{n_1}{n_2} \cdot d,$$

so ist $(r_2 + d)$ der Abstand des Krümmungsmittelpunktes der hinteren Fläche vom Scheitel der vorderen, und die Gleichung würde aussagen, daſs der Krümmungsmittelpunkt der hinteren Fläche hinter dem der vorderen liege. Dann müſste die Hornhaut von der Mitte nach dem Rande zu an Dicke abnehmen, während in der Regel das Umgekehrte der Fall ist. Die Hornhaut wird also den Folgerungen gemäſs, welche am Ende des § 9 für concavconvexe Linsen aus der Gleichung 13) gezogen sind, in der Regel als Linse in wässriger Feuchtigkeit aufgehängt eine negative, aber sehr groſse Brennweite haben.

Nehmen wir $r_1 = 8$ mm, $r_2 = 7$ mm, $d = 1$ mm und nach W. KRAUSE $n_2 = 1{,}3507$, $n_1 = 1{,}3420$, so wird nach § 9 Gleichung 13) die Brennweite der

riger Feuchtigkeit befindlichen Hornhaut gleich — 8,7 Meter, eine Gröſse, wir im Verhältnisse zu den Dimensionen des Auges als unendlich groſs bekönnen.

Dasselbe wurde bestätigt durch Versuche mit dem Ophthalmometer, mittels s Instrumentes ich die Gröſse eines Objects maſs, welches sich hinter einem fäſse mit parallelen Wänden befand. Brachte ich in das Wasser eine frische ut einer menschlichen Leiche, so daſs ich das Object nur durch die Hornrblickte, so war durch das Ophthalmometer keine Verkleinerung des Bildes decken. Diese war also so gering, daſs die leichte Trübung des Bildes durch geführte Hornhaut hinreichte, sie unwahrnehmbar zu machen.

Um berechnen oder schätzen zu können, um wie viel sich die wirkliche Brechung ge von derjenigen unterschiede, welche eintreten würde, wenn das Brechungsgen der Hornhaut wirklich dem der wässrigen Feuchtigkeit gleich wäre, wollen e optischen Constanten der Hornhaut nach der Formel § 9 Nr. 12) bestimnd dabei setzen, $n_1 = 1$, $n_3 = n$, $n_2 = n + \Delta n$, $r_1 = r$, $r_2 = r - \Delta r$, wir die Gröſsen $\Delta n$, $\Delta r$ und die Dicke der Hornhaut $d$ als sehr klein n und $r$ ansehen können. Wenn wir diese Bezeichnungen in § 9 Gleichun-) einsetzen, und die höheren Dimensionen der kleinen Gröſsen vernachlässigen, n wir die Brennweiten.

$$F_1 = \frac{1}{n} . F_2 = \frac{r}{n-1} \left\{ 1 - \Delta n \, . \, \frac{(n-1).d - n.\Delta r}{n.(n-1).r} \right\} \quad . \; . \quad 1).$$

nterschied der Brennweiten von dem Werthe $\frac{r}{n-1}$, den wir durch die An-$\Delta n = 0$ erhalten, ist eine kleine Gröſse zweiter Dimension; ebenso die nung $x$ des ersten Hauptpunktes, von der vorderen Hornhautfläche nach vorn net.

$$x = \frac{d.\Delta n}{n\,(n-1)} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1\text{ a)}$$

ntfernung der beiden Hauptpunkte von einander $a$ wird sogar eine kleine dritter Dimension.

$$a = \frac{d^2 . \Delta n}{n.r} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1\text{ b)}$$

ür die Berechnung der Bilder wird es daher genügen, nur eine Brechung r vorderen Fläche der Hornhaut in Betracht zu ziehen, und dabei das ngsvermögen der Hornhaut gleich dem der wässrigen Feuchtigkeit zu setzen.

### Die Brechung in der Krystallinse.

Der zweite Theil des optischen Systems des Auges besteht aus der Krystall-Vor dieser befindet sich die wässrige, hinter ihr die Glasfeuchtigkeit. Da rechungsvermögen dieser beiden Stoffe nur äuſserst geringe Unterschiede zeigt, 72
llen wir diesen Unterschied vernachlässigen. In optischen Systemen, deren und letztes Mittel identisch ist, fallen die Hauptpunkte mit den Knotenen zusammen. Wir können also bei der Krystallinse im Auge, wie bei den nlichen Glaslinsen unserer optischen Instrumente, beide Arten von Punkten iciren. Die Krystallinse unterscheidet sich aber dadurch wesentlich von

künstlichen Glaslinsen, dafs die Dichtigkeit ihrer Substanz nicht constant ist, sonder von aufsen nach innen zunimmt. Da wir das Gesetz dieser Zunahme nicht gena kennen, sind wir auch aufser Stande den Gang der Lichtstrahlen durch die Lins vollständig zu berechnen, und den Ort ihrer Brennpunkte und Hauptpunkte gena zu bestimmen. Wir müssen uns begnügen, Grenzen für die Lage dieser Punkt zu finden. In dieser Beziehung lassen sich folgende Sätze aufstellen.

1) Die Brennweiten der Krystallinse sind kleiner, als sie sei würden, wenn ihre ganze Masse das Brechungsvermögen ihres Kern hätte.

Um diesen wichtigen Satz zu beweisen, denken wir uns die Krystallinse nac ihrer natürlichen Schichtung zerlegt in den Kern, der eine fast kugelige biconvex Linse von positiver Brennweite darstellt, und in die einzelnen ihn umschliefsende Schichten, deren zunächst der Augenaxe gelegene Theile concavconvexen Linse entsprechen. Und zwar sind dies Linsen, die nach dem Rande zu dicker ode wenigstens nicht dünner werden, bei denen also $r_1 \geqq r_2 + d$ (s. Ende von § 9 wenn wir mit $r_1$ den Radius der convexen, mit $r_2$ den der concaven Fläche, und mit $d$ die Dicke der Linse bezeichnen.

Da nach S. 81 die Brechung in einem optischen System nicht geändert wird, wenn wir unendlich dünne durch concentrische Kugelflächen begrenzte Schichten eines beliebigen brechenden Medium an beliebiger Stelle eingeschoben denken, so können wir uns zwischen je zwei Linsenschichten eine unendlich dünne Schicht Kernsubstanz eingeschaltet denken, und also alle übrigen Linsenschichten als in Kernsubstanz eingebettet betrachten. Da die einzelnen Linsenschichten nach dem Aequator der Linse hin dicker werden, so haben sie die Form von Concavlinsen, welche nach Gleichung 13) in § 9 und den sich daran schliefsenden Erörterungen über die Wirkung der Linsen negative Brennweite haben, wenn wie bei Glaslinsen in Luft $n_2 > n_1$, d. h. die Linse aus stärker brechender Substanz besteht. In unserem Falle aber ist es umgekehrt. Die in Kernsubstanz eingebetteten Linsen-schichten würden $n_2 < n_1$ haben, und deshalb wie Sammellinsen auf das in Kern-substanz eingetretene Licht wirken. Daraus folgt nach § 9 S. 84, dafs sie dieses Licht, ehe es die Hinterfläche der Krystallinse erreicht, convergenter machen müssen, als es ohne ihre Anwesenheit in der aus Kernsubstanz gebildeten Linse geworden wäre. Somit wird es auch convergenter die Linse verlassen, und eher in deren Axe zur Vereinigung kommen, als es durch eine ganz aus Kernsubstanz bestehende ungeschichtete Linse geschehen wäre.

Dafs bei dieser Vorschiebung des Vereinigungspunkts auch die Brennweite ve kürzt werden mufs, ergiebt sich, wenn wir einen der Axe parallel in der Ent fernung $\varrho$ von ihr verlaufenden Strahl verfolgen, der also auch verlängert die erst wie die zweite Hauptebene in der Entfernung $\varrho$ von der Axe trifft. Dieser mu hinter der Linse durch deren zweiten Brennpunkt gehen. Bezeichnen wir d Convergenzwinkel, unter dem der Strahl die Axe im Brennpunkt schneidet mit so ist

$$\varrho = F \, . \, tg \; \alpha .$$

Für denselben Strahl wird aber die Convergenz der Strahlen gröfser, wie w oben gesehen, wenn wir die geschichtete Linse statt der einfachen Linse aus Ker substanz setzen. Wenn $\varrho$ gleich bleibt, $\alpha$ gröfser wird, mufs $F$ kleiner werde

Herr L. MATTHIESSEN[1] hat kürzlich die Strahlenbrechung in einer Lin theoretisch berechnet, die eine Zunahme des Brechungsverhältnisses von der Obe

---

[1] L. MATTHIESSEN. *Pflueger's Archiv für Physiologie.* Bd. 36. S. 72.

gegen den Kern zeigt, deren Gesetz zuvor hypothetisch angenommen, aber
en Verhältnissen der menschlichen Krystallinse möglichst angenähert ist.
) **Die Entfernung der Hauptpunkte von einander ist in der Kry-** 75
**nse kleiner als in einer Linse, welche dieselbe Form und das**
**ungsvermögen des Kerns hätte.**
ie Hauptpunkte sind die von der Linse selbst entworfenen Bilder eines in ihr
en Punktes, nämlich ihres sogenannten optischen Mittelpunktes. Wo dieser
egen mag, so läfst sich in ganz ähnlicher Weise, wie es eben zur Bestimmung
uptpunkte geschehen ist, nachweisen, dafs die Bilder des optischen Mittel-
s desto näher den Oberflächen der Linse rücken werden, je mehr das
ngsvermögen der einzelnen Schichten der Krystallinse steigt, dafs dabei also
ie Entfernung der beiden Bilder von einander algebraisch gröfser wird. Wenn
mtliche Schichten der Linse schliefslich das Brechungsvermögen des Kerns
t haben, wird im Allgemeinen der optische Mittelpunkt der Krystallinse nicht
it dem optischen Mittelpunkte dieser neuen gleichartigen Linse zusammen-
Da aber bei einer Linse mit positiven Brennweiten die Entfernung der
unkte ein Maximum ist unter den Entfernungen der Bilder je eines inneren
s, so ist die Entfernung der Hauptpunkte dieser neuen gleichartigen Linse
lls gröfser als die Entfernung der von ihr entworfenen Bilder des optischen
unktes der unveränderten Krystallinse, folglich auch gröfser als die Entfernung
uptpunkte der unveränderten Krystallinse von einander.
s läfst sich ferner nachweisen, dafs die Entfernung der Hauptpunkte der
linse einen positiven Werth hat, d. h. dafs der zweite Hauptpunkt hinter
sten liegt, wenn wir annehmen, wie dies aus der Form der Linsenschichten
ngehen scheint, dafs die Krümmungsradien der in der Axe gelegenen Theile
chflächen gröfser sind als die Entfernungen dieser Flächen vom Kerne der
Brechende Kugelflächen entwerfen von Punkten, welche zwischen ihnen und
Mittelpunkte liegen, Bilder, die der brechenden Fläche näher sind, als das
Folglich wird das Bild des Mittelpunktes des Linsenkerns, welches die
Linsenhälfte entwirft, vor seinem Objecte, das, welches die hintere Linsen-
entwirft, hinter seinem Objecte liegen. Die beiden zusammengehörigen Bilder
ttelpunktes des Linsenkerns haben also eine positive Entfernung. Da der
d der Hauptpunkte algebraisch gröfser ist als der aller anderen zusammen-
en Bilder, so ist dieser Abstand jedenfalls positiv.
Hauptpunkte einer Linse, welche die Gestalt der menschlichen Krystallinse
Brechungsvermögen ihres Kerns hätte, würden nur etwa $1/4$ mm von ein-
entfernt sein; dadurch ist die Entfernung der Hauptpunkte der Krystallinse 76
ander also in sehr enge Grenzen eingeschlossen.

ie Brechungsverhältnisse der durchsichtigen Mittel des mensch-
Auges sind früher von CHOSSAT[1] und BREWSTER[2] bestimmt worden; später
grofse Zahl solcher Messungen von W. KRAUSE[3] ausgeführt worden, wäh-
e erstgenannten Beobachter, wie es scheint, nur wenige Augen untersucht
BREWSTER brachte die zu untersuchende Substanz zwischen die krumme Fläche
bjectivlinse, welche als Objectiv eines Mikroskops diente, und ein gegen die Axe
kroskops senkrecht gestelltes Planglas. Dadurch wird die Brennweite des
ps verändert. BREWSTER mafs den Objektabstand des Mikroskops vor und nach
ringung der brechenden Substanz und nach der Einbringung von reinem Wasser,

1 F. CHOSSAT, *Bulletin des sc. par la Société philom. de Paris.* A. 1818. Juin. p. 294.
BREWSTER, *Edinburgh Philos. Journal.* 1819. No. 1. p. 47.
KRAUSE, *Die Brechungsindices der durchsichtigen Medien des menschl. Auges.* Hannover 1855.

dessen Brechungscoefficient bekannt war. Cahours und Becquerel[1] schlugen vor, die Gröſse der Bilder des Mikroskops zu messen, und dieser Methode ist auch W. Krause gefolgt. Ich lasse hier die Beschreibung des Verfahrens folgen, welches der Letztere angewendet hat, da es für Ärzte, die ein Mikroskop zu gebrauchen pflegen, leicht ausführbar ist.

Ein gewöhnliches (Kellnersches) Mikroskop, dessen unterer Theil in *Fig. 54* abgebildet ist, wurde für die Messungen auf folgende Art eingerichtet. An die Stelle des Objectivs wurde eine biconvexe Linse von Crownglas von etwa 30 mm Brennweite gebracht, indem die Fassung *b* in das Rohr des Mikroskops *a* eingeschraubt wurde. Die Linse befand sich in einer concaven, geschwärzten Vertiefung, und wurde darin durch die Hülse *d*, die in der Mitte mit einer Öffnung von 2,6 mm Durchmesser versehen war, festgeschraubt. Die Linse lag luftdicht auf dem Rande dieser Öffnung an. Unter ihr wurde eine plane Glasplatte *e*, ebenfalls von Crownglas, angebracht, vermittelst eines Ringes *f*, dessen Innenraum konisch ausgeschliffen war und auf die Hülse *d*, die ebenfalls konisch ausgeschliffen war, paſste, jedoch nicht so genau, daſs nicht Luft langsam dazwischen hindurchdringen konnte.



*Fig. 54.*

Das zu prüfende Augenmedium wurde in den Ring *f* auf die Mitte der ebenen Platte gebracht, und dann der Ring so fest auf die Hülse *d* aufgedrückt, daſs die letztere auf den vorspringenden Rand *g* aufstieſs, um dadurch das Planglas sicher vertikal gegen die Axe des Mikroskops zu stellen. Nach jeder Messung konnte die Objektivlinse herausgenommen und gereinigt werden.

Im Oculare des Mikroskops war ein Glasmikrometer, getheilt in $^1/_{80}$ Wiener Linien, befestigt; auf den Objecttisch wurde ein eben solches, getheilt in $^1/_{10}$ Linien, gelegt, und das Mikroskop so gestellt, daſs beide Theilungen gleichzeitig deutlich gesehen wurden, und bestimmt, wie viel Theilstrichen des unteren Mikrometers einer des oberen entsprach. Eben solche Messungen wurden angestellt, wenn bloſs Luft zwischen der Objectivlinse und der ebenen Platte, und wenn destillirtes Wasser dazwischen war.

Zur Berechnung der Resultate können wir die Gleichungen 12) in § 9 benutzen; zwar beziehen sich diese nur auf zwei brechende Flächen und in dem Objectivsystem von Krause's Apparate haben wir vier, nämlich die erste und zweite Fläche des Planglases, die erste und zweite Fläche der biconvexen Linse. Wenn wir uns das System in zwei zerlegen, von denen das erste die beiden ebenen Flächen umfaſst, das zweite die beiden Flächen der Linse, so sind die Brennweiten des ersten Systems unendlich. Bezeichnen wir die erste (untere) Brennweite des Planglases entsprechend der Bezeichnung in § 9. Gleichung 11a) bis 11f) mit $f_1$, die zweite des Planglases mit $f_2$, die erste (untere) der Linse mit $\varphi_1$, die zweite mit $\varphi_2$, den Abstand des zweiten Hauptpunkts des Planglases vom ersten der Linse mit $d$, so giebt die letztere der Gleichungen 11f), wenn wir $f_2$ unendlich groſs setzen, für die zweite (obere) Brennweite des ganzen Systems:

$$F_2 = \varphi_2.$$

77 Die erste Brennweite des ganzen Systems ist dieser gleich, da das erste und letzte Mittel (Luft) identisch sind.

Für die Entfernung des zweiten Hauptpunktes des ganzen Systems vom zweiten Hauptpunkte der Linse giebt die Gleichung 11e) den Werth 0, wenn wir $f_2 = \infty$ setzen. Der zweite Hauptpunkt und zweite Brennpunkt sind also in diesem Falle dieselben, als wenn das zwischen der ebenen Platte und der Linse eingeschlossene Mittel nach vorn unbegrenzt wäre.

Wir nennen also, entsprechend der Bezeichnung die Gleichung 12) in § 9, das Brechungsverhältniſs der zu prüfenden Substanz $n_1$, das der Glaslinse $n_2$; das der Luft $n_3$ können wir $= 1$ setzen; dann entspricht der Werth von $F_2$ der genannten Gleichungen der Brennweite $F$ unseres Objectivsystems:

$$F = \frac{n_2 . r_1 . r_2}{n_2 . (1 - n_2) . r_1 + [n_2 . r_2 - (1 - n_2) . d] . (n_2 - n_1)} .$$

[1] A. C. Bequerel, *L'Institut. Scienc math., phys. et natur.* 1840. p. 399.

Nennen wir $F_0$ die Brennweite des Objectivsystems für den Fall, dafs destillirtes Wasser zwischen die Platte und Linse eingebracht ist, $n_0$ das Brechungsvermögen des destillirten Wassers, und $\Phi$ die Brennweite für den Fall, wo sich Luft zwischen der Platte und Linse befindet, so erhalten wir noch zwei ähnliche Gleichungen, welche wir mit der vorigen in folgender Form schreiben können:

$$\left.\begin{aligned} F \,.\, A - n_2 \,.\, r_1 \,.\, r_2 &= n_1 \,.\, F \,.\, B \\ F_0 \,.\, A - n_2 \,.\, r_1 \,.\, r_2 &= n_0 \,.\, F_0 \,.\, B \\ \Phi \,.\, A - n_2 \,.\, r_1 \,.\, r_2 &= \Phi \,.\, B \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2),$$

wenn wir der Abkürzung wegen setzen:

$$A = n_2.[(1 - n_2).r_1 + n_2.r_2 - (1 - n_2).d]$$
$$B = n_2.r_2 - (1 - n_2).d.$$

Wenn wir die zweite der Gleichungen 2) von der ersten, und die dritte von der zweiten abziehen, erhalten wir:

$$(F - F_0).A = (n_1.F - n_0.F_0).B$$
$$(F_0 - \Phi).A = (n_0.F_0 - \Phi).B.$$

Diese beiden Gleichungen durch einander dividirt geben:

$$\frac{F - F_0}{F_0 - \Phi} = \frac{n_1.F - n_0.F_0}{n_0.F_0 - \Phi}.$$

Daraus folgt endlich

$$n_1 = 1 + (n_0 - 1).\frac{F_0.(F - \Phi)}{F.(F_0 - \Phi)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2a).$$

Wir können also das Brechungsverhältnifs der zu prüfenden Substanz $n_1$ berechnen, wenn wir das Brechungsverhältnifs des destillirten Wassers $n_0$ kennen und die drei Brennweiten des Objectivsystems $F$, $F_0$ und $\Phi$. Diese Brennweiten lassen sich aber aus der Messung der Bilder berechnen. Ist $b$ die Gröfse eines Theilstrichs des unteren Mikrometers, und $\beta$ die absolute Gröfse seines in der Ocularblendung des Mikroskops entworfenen Bildes, ohne Rücksicht auf seine umgekehrte Stellung, $F$ die Brennweite des Objectivsystems und $g$ die Entfernung des Bildes $\beta$ vom zweiten Hauptpunkte des Objectivsystems, so ist nach § 9 (Gleichung 8b)[1]:

$$\frac{\beta}{b} = \frac{g - F}{F} \quad \text{oder}$$

$$F = \frac{g.b}{b + \beta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2b)$$

Wenn man $b$ und $\beta$ gemessen hat, würde man also $g$ noch kennen müssen, um $F$ zu finden. Vorausgesetzt aber, dafs $g$ in allen Fällen dasselbe bleibt, was in KRAUSE's Apparat mit grofser Annäherung der Fall ist, würde sich dessen Werth aus der Gleichung für $n_1$ fortheben, braucht also dann nicht gekannt zu sein. Lassen wir den drei 78
Brennweiten $F$, $F_0$ und $\Phi$ entsprechen die drei Werthe $\beta$, $\beta_0$ und $b$, so wird der Werth von $n_1$

$$n_1 = 1 + (n_0 - 1).\frac{b - \beta}{b - \beta_0} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2c).$$

Zur Berechnung von $n_1$ braucht man also unter diesen Umständen nicht einmal die Gröfse des Objects $b$ zu kennen, welches man unter das Mikroskop gelegt hat, sondern es genügt irgend ein beliebiges Object zu nehmen, wenn es nur immer dasselbe bleibt.

Der Werth von $g$ ist in diesen Messungen constant, wenn sich die Stellung des Mikrometers im Oculare, und die des zweiten Hauptpunktes des Objectivsystems nicht ändert. Die letztere ist bei Einschaltung verschiedener Flüssigkeiten zwischen der ebenen Platte und Linse nur dann streng constant, wenn die obere Fläche der Linse eben ist.

[1] HELMHOLTZ, Physiol. Optik. 2. Aufl.

In § 9 Gleichung 12a) ist $h_2$ die Entfernung des zweiten Hauptpunktes von der I
Fläche der Linse. Wenn $r_2$ nicht unendlich ist, ist diese Entfernung von
Brechungsvermögen der eingeschalteten Substanz, abhängig. Wenn man $r_2$ u
grofs setzt, nachdem man Zähler und Nenner des Ausdrucks für $h_2$ dadurch
hat, wird

$$h_2 = -\frac{n_3 . d}{n_2},$$

also unabhängig von $n_1$. Es möchte daher besser sein, bei solchen Messungen s
biconvexen eine planconvexe Linse zu nehmen, die plane Seite nach oben ge
Indessen ist der Fehler, welcher durch Anwendung einer biconvexen entstehe
jedenfalls äufserst unbedeutend, wenn nur die Dicke der Linse gegen die Lä
Körpers des Mikroskops vernachlässigt werden kann.

Brewster hat bei seinen Messungen den Brechungscoefficienten des de
Wassers = 1,3358 gesetzt, was nach Fraunhofer's Messungen etwa der Linie $E$ i
also den Strahlen mittlerer Brechbarkeit entsprechen würde. Krause zieht auf I
Rath vor, als Grundlage den intensivsten Strahl des Spectrums zu nehmen, welch
Fraunhofer den Brechungsindex 1,33424 hat. Ich gebe in der folgenden T
Resultate, welche Chossat, Brewster und Krause für das menschliche Auge
haben. W. Krause hat 20 Augen von 10 Individuen untersucht und sehr betrā
individuelle Abweichungen gefunden.

**Tabelle der Brechungsindices menschlicher Augen.**

| Beobachter. | | Hornhaut. | Wässrige Feuchtigkeit. | Glaskörper. | Krystallinse. Äufsere Schicht. | Mittlere Schicht. | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chossat. | | 1,33 | 1,338 | 1,339 | 1,338 | 1,395 | 1, |
| Brewster. $n_0$ = 1,3358. | | | 1,3366 | 1,3394 | 1,3767 | 1,3786 | 1 |
| W. Krause. $n_0$ = 1,3342. | Max. | 1,3569 | 1,3557 | 1,3569 | 1,4743 | 1,4775 | 1 |
| | Min. | 1,3431 | 1,3349 | 1,3361 | 1,3431 | 1,3523 | 1 |
| | Mittel. | 1,3507 | 1,3420 | 1,3485 | 1,4053 | 1,4294 | 1 |
| Helmholtz. $n_0$ = 1,3354. | | | 1,3365 | 1,3382 | 1,4189 | | |

Die von mir selbst angestellten Messungen sind in folgender Weise ausgef
wurden Proben der zu untersuchenden Flüssigkeit zwischen einer ebenen Glaspl
der concaven Fläche einer kleinen planconcaven Linse eingeschlossen; Bilde
optischen Systems wurden mit dem Ophthalmometer gemessen, daraus die Bre
berechnet. Aufserdem konnte der Radius der concaven Linsenfläche direct
Ophthalmometer bestimmt werden, ähnlich wie dies in § 2 für den Krümmur
der Hornhaut geschehen ist. Unter diesen Umständen war es nicht nöthig,
destillirtem Wasser zwischen den Gläsern zu beobachten, und dessen Br
79 verhältnifs als bekannt vorauszusetzen. Das Brechungsverhältnifs des destillirten
fand sich auf diese Weise 1,3351, was zwischen Brewster's und Krause's Zahl

Krause hat noch eine Reihe von Brechungsverhältnissen an Kalbsaugen un
namentlich in der Absicht zu ermitteln, ob die Brechungsverhältnisse in de
24 Stunden nach dem Tode sich merklich verändern, indem er 20 solcher A
mittelbar nach dem Tode untersuchte, 20 andere, nachdem sie 24 Stunden be
aufbewahrt worden waren. Er fand folgende Mittelzahlen:

| | frische Augen | nach 24 Stunden |
|---|---|---|
| Hornhaut | 1,3467 | 1,3480 |
| Wässrige Feuchtigkeit | 1,3421 | 1,3415 |
| Glaskörper | 1,3529 | 1,3528 |
| Äufsere Linsenschicht | 1,3983 | 1,4013 |
| Mittlere Linsenschicht | 1,4194 | 1,4211 |
| Linsenkern | 1,4520 | 1,4512. |

Daraus geht hervor, dafs sich die Brechungsverhältnisse der Kalbsaugen in den ersten 24 Stunden nach dem Tode nicht merklich verändern, und es läfst sich demnach dasselbe für die menschlichen annehmen.

Später sind verschiedene Bestimmungen der Brechungsverhältnisse der brechenden Theile des Auges mit dem dafür sehr geeigneten Refractometer von ABBE[1] ausgeführt worden. In diesem Instrumente sind zwei rechtwinkelige Prismen mit den Hypotenusenflächen aneinander gelegt, zwischen diese Flächen wird ein Tropfen der Substanz, die man untersuchen will, gebracht, und dann untersucht, unter welchem Winkel totale Reflexion eintritt. Diese tritt bekanntlich für Licht, das sich in einem stärker brechenden Medium bewegt ein, wenn das Brechungsgesetz

$$\sin \alpha_1 = \frac{n_2}{n_1} . \sin \alpha_2$$

erfordern würde, dafs $\sin \alpha_1 > 1$ würde, was der Sinus eines reellen Winkels nicht kann. Die Grenze ist also gegeben, wo

$$\sin \alpha_2 = \frac{n_2}{n_1}$$

ABBE's Instrument erlaubt diesen Winkel genau zu messen, mit gleichzeitiger Compensation der Farbenzerstreuung und Messung der mittleren Dispersion. Man braucht für diese Messungen nur äufserst wenig der betreffenden Substanz.

Bestimmungen nach dieser Methode sind ausgeführt von den Herren SIGMUND FLEISCHER[2], HIRSCHBERG[3], AUBERT und MATTHIESSEN[4]. Herr HIRSCHBERG hat besonders frische Augen benutzen können; er fand

für Kammerwasser: 1,337 (Max. 1,33799 — Min. 1,33705)
für Glaskörper 1,336 (Max. 1,33798 — Min. 1,33541)

Die Herren AUBERT und MATTHIESSEN fanden gemeinsam bei den Augen eines Mannes von 50 Jahren und eines Kindes von 2 Tagen, während das Brechungsverhältnifs des destillirten Wassers, mit demselben Instrument bestimmt, gleich 1,3310 gefunden wurde:

| | Mann I. | Mann II. | Kind I. | Kind II |
|---|---|---|---|---|
| Hornhaut | — | 1,377 | 1,3721 | |
| Kammerwasser | — | — | 1,3338 | — |
| Vordere Linsenkapsel | | — | 1,3831 | 1,3780 |
| Hintere | 1,3374 | 1,3376 | 1,3503 | 1,3572 |
| Äufsere Linsenschicht | 1,3953 | 1,3967 | 1,3967 | |
| Mittlere | 1,4087 | 1,4067 | | — |
| Kern | 1,4119 | 1,4093 | | |
| Glaskörper | — | 1,3348 | 1,3340 | |

Experimentelle Bestimmung der Cardinalpunkte todter Krystallinsen.

Da aus der Gestalt und den Brechungsverhältnissen der einzelnen Schichten der Krystallinse deren Brennweite nicht unmittelbar zu berechnen ist, so will ich hier die Resultate von directen Messungen der optischen Constanten zweier menschlicher Linsen anführen, welche ich etwa 12 Stunden nach dem Tode untersuchen konnte. 79

An der Luft trocknet und faltet sich die Oberfläche einer aus dem Auge genommenen Linse sehr bald, in Wasser quillt sie auf und wird trübe. Ich habe deshalb die todten Linsen während ihrer Untersuchung mit Glasfeuchtigkeit umgeben. Aufserdem sind die Linsen aufserordentlich nachgiebig gegen jeden Zug und Druck; so lange sie aber von

[1] ABBE. *Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens.* Jena 1874.
[2] FLEISCHER. *Neue Bestimmungen der Brechungsexponenten der durchsichtigen flüssigen Medien des Auges.* Inaug.-Diss. Jena 1874.
[3] J. HIRSCHBERG. *Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde.* Bd. IV. Wiesbaden 1874.
[4] H. AUBERT. *Grundzüge der Physiologischen Optik.* Leipzig 1876.

ihrer elastischen und sie sehr prall umschliefsenden Kapsel umgeben sind, sind diese Formveränderungen vorübergehend. Man mufs die Linsen während der Untersuchung also so lagern, dafs sie keinem äufseren Zuge oder Drucke ausgesetzt sind. Ich that das auf folgende Weise. In *Fig.* 55 ist ein Durchschnitt des kleinen Apparates, den ich dazu brauchte, in natürlicher Gröfse dargestellt. In der Mitte befindet sich ein hohles cylindrisches Stück aus Messing, welches im Inneren bei *b b* eine horizontale, auf der oberen Seite concave und in der Mitte mit einer runden Oeffnung versehene Scheidewand hat. Ich benutzte dazu die Fassung eines der Objectivgläser eines älteren Mikroskops. Der untere Rand dieses Messingstücks wird auf die planparallele Glasplatte *c c* aufgekittet, aber so, dafs sich keine Schicht Kitt von merklicher Dicke zwischen die unterste Rundung des Randes und die Glasplatte einschiebt. Nun füllt man erst den unteren Hohlraum des Messingcylinders

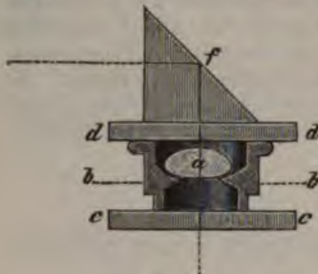


*Fig. 55.*

mit Glasfeuchtigkeit, legt dann die Krystallinse, welche man vorsichtig und ohne Verletzung oder harte Berührung aus dem Auge genommen hat, mit ihrer platteren Seite auf das Diaphragma *b b*. Dann füllt man oben noch etwas Glasfeuchtigkeit nach, bis sie bis zum oberen Rande des Messinggefäfses steht, und deckt die zweite planparallele Glasplatte *d d* darüber, so dafs diese auch oben der Glasfeuchtigkeit eine gerade Oberfläche giebt. Da ich mein Ophthalmometer nicht bequem vertical stellen konnte, so setzte ich auf die Glasplatte *d d* noch ein rechtwinkeliges, gleichschenkeliges Glasprisma *f* welches das von unten her durch die Linse kommende Licht horizontal reflectirte. Das Ganze setzt man dann bequem auf den Körper eines Mikroskops, von dem man alle Gläser und die enge Blendung am unteren Theile entfernt hat, und bringt eine Messingplatte mit Gravesand'schen Schneiden, deren Zwischenraum als optisches Object für die Krystallinse gebraucht werden soll, einmal auf den Objecttisch des Mikroskops, und dann
80 wieder dicht unter die Glasplatte *c c*, zwischen sie und den oberen Rand des Körpers des Mikroskops. Zur Beleuchtung gebraucht man den Spiegel des Mikroskops, indem man ihn von unten her Licht durch den zwischen den Schneiden gelegenen Ausschnitt der Messingplatte werfen läfst. Mittels des Ophthalmometers mifst man nun die Gröfse des Bildes, welches die Krystallinse von dem Ausschnitte der Messingplatte entwirft.

Zur Rechnung mufs man die Entfernung des Ausschnitts zwischen den Gravesand'schen Schneiden von der unteren Fläche der Platte *c c* kennen. Diese Gröfse sei $a_1$ wenn der Schirm auf dem Tische des Mikroskops liegt, und $a_2$, wenn er dicht unter der Platte liegt. Je gröfser man $a_1$ und je kleiner man $a_2$ machen kann, desto bessere Resultate giebt der Versuch. Ferner mufs man die Dicke der Platte *c c* kennen, welche wir *c* nennen wollen, und wenigstens annähernd ihr Brechungsvermögen $n_c$, endlich die Entfernung *b* zwischen der oberen Fläche der Platte *c c* und dem oberen Rande der Öffnung *b b*, und das Brechungsverhältnifs des Glaskörpers gegen Luft $n_2$. Ferner sei $b_1$ die Entfernung der Gravesand'schen Schneiden von einander zu der Zeit, wo sie auf dem Tische des Mikroskops um $a_1$ entfernt von der Platte *c* lagen, $\beta_1$ die Breite des von der Krystallinse entworfenen Bildes, ihres Zwischenraums, welche in diesem Falle eine negative Gröfse ist wegen der Umkehrung des Bildes, $b_2$ und $\beta_2$ die entsprechenden Gröfsen bei der anderen Lage des Schirms, *f* die gesuchte Brennweite der Linse in Glasfeuchtigkeit, und *x* der Abstand ihres ersten Knotenpunktes von der Ebene des oberen Randes der Öffnung *b b*. So ergiebt sich aus dem, was über die Brechung in ebenen Platten § 9 Gleichung 3 e) und 6 c) gefunden ist, dafs die Lichtstrahlen, wenn sie in der Glasfeuchtigkeit vor der Krystallinse angekommen sind, einem Bilde von der Gröfse $b_1$ und $b_2$ entsprechen, welches in der Entfernung beziehlich $\left(n . a_1 + \frac{n}{n_c} . c + b + x\right)$ oder $\left(n . a_2 + \frac{n}{n_c} . c + b + x\right)$ liegt. Die Gröfse des Bildes $\beta_1$ oder $\beta_2$ wird nachher durch

die Brechung an den ebenen Flächen der oberen Glasplatte nicht weiter verändert. Wir haben also die Gleichungen:

$$\frac{\beta_1 - b_1}{\beta_1} = -\frac{n.a_1 + \frac{n}{n_c}.c + b + x}{f}$$

$$\frac{\beta_2 - b_2}{\beta_2} = -\frac{n.a_2 + \frac{n}{n_c}.c + b + x}{f}$$

Durch Subtraction erhält man:

$$\frac{\beta_1 - b_1}{\beta_1} - \frac{\beta_2 - b_2}{\beta_2} = \frac{n.(a_1 - a_2)}{f},$$

woraus $f$ zu finden ist:

$$f = \frac{n.\beta_1.\beta_2.(a_1 - a_2)}{b_2.\beta_1 - b_1.\beta_2},$$

und dann erhält man aus einer der beiden früheren Gleichungen auch $x$. Man vergesse bei der Rechnung nicht, dafs $\beta_1$, wenn $a_1$ gröfser als die Brennweite ist, ein umgekehrtes Bild, also negativ ist. Die Gröfse $x$ ist nicht unmittelbar gleich dem Abstande des Knotenpunktes von der vorderen Fläche der Linse zu setzen, sondern bedarf dazu noch einer kleinen Correction, weil die gekrümmte Fläche der Linse sich etwas unter die Ebene der Öffnung, auf deren Rändern sie ruht, herabwölbt. Wenn man den Durchmesser der Öffnung und den Krümmungsradius der Linse kennt, ist die Höhe des betreffenden Kugelabschnitts leicht zu berechnen.

Den Abstand des zweiten Knotenpunktes von der hinteren Fläche der Linse erhält man in derselben Weise, nachdem man die Linse umgekehrt hat.

Die kleine Gröfse $\frac{c}{n_c}$ kann man durch Beobachtungen mit dem Ophthalmometer bestimmen, indem man die Glasplatte $cc$, ähnlich wie sie hier zwischen dem Spalt und 81
der Krystallinse angebracht ist, zwischen diesen und eine kleine Glaslinse von bekannter Brennweite und bekannter Lage der Knotenpunkte bringt. In ähnlicher Weise kann auch die Gröfse $b$ ermittelt werden. Dieselben Gleichungen, welche wir für die Ermittelung von $x$ und $f$ aufgestellt haben, können bei bekanntem $x$ und $f$ auch dienen, $b$ oder $\frac{c}{n_c}$ zu ermitteln.

Die Krümmungshalbmesser für die Scheitel der Linse können entweder, wie oben angegeben ist, durch Spiegelung ermittelt werden, oder auch durch Brechung. Zu dem Ende läfst man die Linse in ihrem Messinggehäuse liegen, und entfernt nur den Theil der Glasfeuchtigkeit, welcher ihre obere Fläche bedeckt, und stellt nun entweder den Ausschnitt zwischen den GRAVESAND'schen Schneiden vor dem Prisma $f$, etwas seitlich von der Gesichtslinie des Ophthalmometers auf, und mifst die Gröfse seines Spiegelbildes, oder man läfst den Messingschirm mit den Schneiden auf dem Objecttische des Mikroskops liegen, und mifst das dioptrische Bild, welches jetzt entworfen wird. Wie die Messung des Spiegelbildchens zur Rechnung zu benutzen ist, ist schon oben angegeben. Für die dioptrische Messung mögen $b_1$, $\beta_1$ und $f$ die bisherige Bedeutung behalten, $\beta_2$ die Gröfse des Bildes bezeichnen, nachdem man die Glasfeuchtigkeit von der oberen Fläche der Linse entfernt hat, und $y$ der Abstand des oberen Knotenpunktes von der oberen Fläche sein. (Dieser Abstand bezieht sich immer auf den Fall, wo die Linse in Glasfeuchtigkeit liegt.) Endlich sei $R$ der Krümmungsradius im Scheitel der oberen Fläche. Dann kann $R$ aus der Gleichung gefunden werden:

$$R.\frac{n.(\beta_1 - \beta_2)}{(n-1).\beta_2} = f.\frac{b_1 - \beta_1}{b_1} - y.$$

Ich habe für den eigenthümlichen Bau der Linse erwiesen, dafs ihre Brennwei kürzer sei, als wenn sie ganz und gar die Dichtigkeit und das Brechungsvermögen ihr Kerns hätte. Wollte man also eine homogene Linse von gleicher Gestalt und Gröſ und gleicher Brennweite, wie der Krystallkörper ist, herstellen, so würde man dies ein noch höheres Brechungsvermögen geben müssen, als selbst sein Kern hat. Dies Brechungsvermögen einer imaginären gleichgestaltigen und gleichwerthigen homogen Linse hat SENFF das totale Brechungsvermögen genannt. Es ist wohl zu unterscheid von dem mittleren Brechungsvermögen, welches dem arithmetischen Mittel sämmtlich Schichten entspricht. Das totale ist im Gegentheile höher als das höchste Brechungsv mögen der dichtesten Theile der Linse. Ich gebe hier zunächst eine Zusammenstellu der von mir für menschliche Linsen gefundenen Werthe, die Lineardimensionen in Mil metern. Brennweite und Hauptpunkte beziehen sich auf den Fall, wo die Linse v Glasfeuchtigkeit umgeben ist. Die Krümmungshalbmesser sind durch Spiegelung b stimmt.

| | | |
|---|---|---|
| 1) Brennweite | 45,144 | 47,435 |
| 2) Abstand des ersten Hauptpunktes von der vorderen Fläche | 2,258 | 2,810 |
| 3) Abstand des zweiten Hauptpunktes von der hinteren Fläche | 1,546 | 1,499 |
| 4) Dicke der Linse | 4,2 | 4,314 |
| 5) Krümmungshalbmesser im Scheitel der vorderen Fläche | 10,162 | 8,865 |
| 6) Krümmungshalbmesser im Scheitel der hinteren Fläche | 5,860 | 5,889 |
| 7) Totales Brechungsvermögen | 1,4519 | 1,4414. |

### Form der Krystallinse an lebenden Augen.

Ob aber Form und Brennweite todter Linsen denen des lebenden fernsehenden Aug gleich sind, ist mir durch Messungen, die ich an lebenden Augen ausgeführt hal zweifelhaft geworden. Ich habe nämlich die Dicke der Linse an drei lebenden Person zum Theil um mehr als $^1/_3$ mm kleiner gefunden, als die kleinsten Werthe der Dicke sin die man an todten Linsen findet[1]. Wie man die Entfernung der Pupille von der vorder Hornhautfläche findet, ist in § 3 beschrieben. Dicht am Pupillarrande der Iris befind sich auch die vordere Linsenfläche. Um die Dicke der Linse zu bestimmen, m man also noch die Entfernung der hinteren Linsenfläche von der Hornhaut zu ermitte suchen.

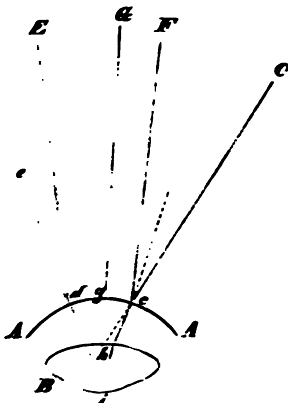


Fig. 56.

Es sei in *Fig. 56* $A\,A$ die Hornhaut, $B$ d Linse. Es falle in der Richtung $Cc$ Licht in d Auge, werde gebrochen an der Hornhaut un vorderen Linsenfläche, dann an der hinter Linsenfläche in $i$ reflectirt. Der zurückgeworfe Strahl trete bei $d$ aus der Hornhaut und ge fort in der Richtung $d\,D$, wo er das Auge d Beobachters trifft. Jetzt bringe der Beobacht sein Auge nach $C$ genau an die Stelle des Lich und das Licht nach $D$ genau an die frühere Stel seines Auges, so wird ein Lichtstrahl wieder gen auf demselben Wege, nur in umgekehrter Ric tung $D\,d\,i\,c\,C$ vom Lichte zum Auge des Beo achters gehen, und es wird bei dieser zweit Stellung wieder genau dieselbe Stelle der hinter Linsenfläche das Licht zurückwerfen, wie bei d ersten. Indem man den Ort des Lichts und d Auges des Beobachters, den Ort des beobachtet Auges, so wie den Fixationspunkt des letzteren durch passende Abmessungen bestimm erhält man die Winkel, welche die Linien $Cc$, $Dd$ und die Gesichtslinie des beobachtet

[1] H. HELMHOLTZ, Graefe's Archiv für Ophthalmologie. Bd. I. (2.) S. 56.

lagen $Gg$ mit einander bilden. Um die Punkte $c$ und $d$ auf der Hornhaut zu finden, bringt man, wenn das Auge des Beobachters in $D$ steht, ein kleines Licht entfernt vom Auge in $E$ so an, dafs für den Beobachter der von der Hornhaut entworfene Reflex dieses Lichts mit dem von der hinteren Linsenfläche entworfenen Reflexe des Lichts $C$ zusammenfällt. Dies geschieht, wenn der Strahl $Ed$ nach $D$ zurückgeworfen wird, wenn also die Halbirungslinie des Winkels $EdD$ senkrecht auf der Hornhautfläche steht. Es sei $ed$ diese Halbirungslinie. Hat man durch passende Abmessungen den Winkel $EdD$ oder $EdG$ bestimmt, so berechnet sich daraus leicht der Winkel, den $ed$ mit $Gg$ bildet, und daraus, wenn man die Form und Krümmung der Hornhaut schon gekannt hat, die Länge des Hornhautbogens, der zwischen beiden liegt, oder die Lage des Punktes $d$ auf der Hornhaut. Eben so wird die Lage des Punktes $c$ bestimmt.

Jetzt kennt man also die Lage der Punkte $c$ und $d$, die Richtung der Linien $Cc$ und $Dd$; man verlängere beide, bis sie sich in $h$ schneiden, so ist $h$ der scheinbare Ort des spiegelnden Punktes der hinteren Linsenfläche, d. h. der Ort, wie er durch die Substanz der Linse und Hornhaut hin erscheint.

Die nöthigen Data zu diesen Bestimmungen bekommt man auf folgende Weise. Es wird, wie in *Fig. 15*, in einiger Entfernung vor dem beobachteten Auge $A$ eine Scale aufgestellt. Symmetrisch zur Linie $AB$ werden die beiden Stellungen des Ophthalmometers (von dem man aber nur das Fernrohr benutzt) in $G_1$ und $G_2$ construirt und bezeichnet, so dafs man das Instrument leicht aus der einen in die andere bringen kann. Wenn das Fernrohr in $G_1$ steht, wird in $G_2$ ein Schirm mit einer Öffnung aufgestellt, durch welche eine grofse und helle Lampenflamme ihr Licht auf das Auge $A$ wirft. Das Gesichtszeichen $F$ wird so gestellt, dafs die Axe der Hornhaut nach dem Punkte $B$ gerichtet ist. Aufserdem wird an der Scale verschiebbar noch ein kleiner Schirm mit einer engen, durch ein blaues Glas verschlossenen Öffnung angebracht, hinter der ein Wachslichtchen steht. Die ganze Anordnung, wie sie dem beobachteten Auge erscheint, ist in *Fig. 57* dargestellt. $F$ ist das Gesichtszeichen, $E$ der Schirm mit dem blauen Lichtchen. Man verschiebt $E$ so lange, bis sich der Hornhautreflex des blauen Lichts mit dem Linsenreflex der grofsen Flamme deckt, und merkt den Theilstrich der Scale, wo $E$ steht. Dann vertauscht man die Stellungen des Fernrohrs und der Lampe, und wiederholt dasselbe Verfahren.

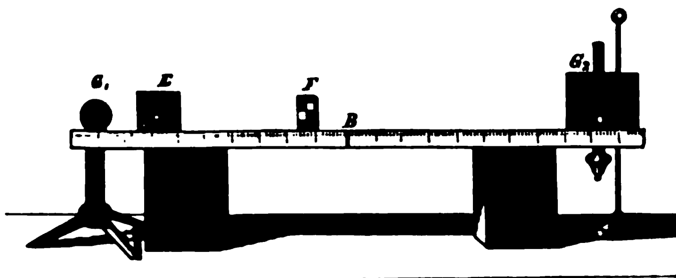



*Fig. 57.*

Die Orte der Hornhautbildchen, und den Durchschnittspunkt der Gesichtslinien des Beobachters im beobachteten Auge kann man ganz ebenso, wie ich es für die Iris beschrieben habe, bestimmen. Ich habe es für die folgenden Beobachtungen mit Berücksichtigung der Ellipticität der Hornhaut gethan.

Falls die Linse ein Rotationskörper wäre, dessen Axe genau mit der der Hornhaut zusammenfiele, müfste bei diesem Verfahren der spiegelnde Punkt der hinteren Linsenfläche, also auch sein scheinbarer Ort, der Durchschnittspunkt der Gesichtslinien des Beobachters, in der Axe der Hornhaut liegen. Meine Versuche zeigen, dafs das nicht der Fall sei.

In dem Auge O. H. ist die Abweichung allerdings so gering, dafs sie kleinen Beobacht fehlern in der Bestimmung der Hornhaut zugeschrieben werden könnte; aber in beiden andern Augen ist sie dafür zu grofs. Ich gebe im Folgenden die Ordinate scheinbaren Lage des reflectirenden Punktes $c$ für die drei untersuchten Augen an. Abstand von der Axe der Hornhaut habe ich angegeben die Länge des Lothes, we von $c$ auf die Hornhautaxe gefällt ist, und als Abstand von der Hornhaut die I zwischen dem Fufspunkte des Lothes und dem Scheitelpunkte der Hornhaut. D gefundene Lage des Punktes $c$ ist immer nur eine scheinbare, wie sie dem Beoba durch die Linse und Hornhaut erscheint, indessen ist die Abweichung von der wirkl Lage jedenfalls nicht sehr bedeutend, da die hintere Linsenfläche dem zweiten Kr punkte des Auges sehr nahe liegt. Die Brechung in der Hornhaut kann berechnet dadurch die Lage des Punktes $c$ gefunden werden, wie sie einem in der wäs Feuchtigkeit stehenden Beobachter erscheinen würde. Die Bezeichnung scheinbare in Luft und in wässriger Feuchtigkeit erklärt sich hiernach. Es sind die Res zweier Versuchsreihen angegeben.

Scheinbare Lage des Punktes $c$ der hinteren Linsenfläche.

| | | O. H. | B. P. | J. H. |
|---|---|---|---|---|
| Abstand von der Hornhaut | in Luft | 6,763<br>6,788 | 7,013<br>6,993 | 6,655<br>6,662 |
| | in Hum. aq. | 6,899<br>6,932 | 7,162<br>7,189 | 6,979<br>6,989 |
| Abstand von der Hornhautaxe nach der Nase zu | in Luft | 0,034<br>0,173 | 0,190<br>0,236 | 0,194<br>0,284 |
| | in Hum. aq. | 0,026<br>0,133 | 0,143<br>0,177 | 0,146<br>0,213 |

Die scheinbare Lage des Punktes $c$, von der wässrigen Feuchtigkeit aus ge ist nun immer noch nicht seine wahre Lage, da die von ihm kommenden Lichtstr noch in der Linse gebrochen werden. Leider lassen sich die optischen Constante Linse an den lebenden Augen noch nicht ermitteln. Glücklicher Weise hat ab Brechung in der Linse einen höchst geringen Einfluss auf die scheinbare Lag Punktes $c$, weil dieser ihrem hinteren Knotenpunkte sehr nahe liegt, und wir bra deshalb an dem Abstande des Punktes $c$ von der Hornhaut nur eine kleine Corr anzubringen, die wir nach den optischen Constanten todter Linsen bestimmen kö Die wahre Entfernung des Punktes $c$ von der Hornhautaxe läfst sich dagegen nicl stimmen, weil die Linsenflächen offenbar schief von der Hornhautaxe geschnitten we und wir die Gröfse dieser Abweichung, welche von grofsem Einflufs auf die schei seitliche Verschiebung des Punktes $c$ ist, nicht kennen.

Ein durch eine Convexlinse gesehener Punkt, der nahe hinter ihrem zw Knotenpunkte liegt, wird scheinbar vorgerückt um die Entfernung ihrer Knotenp von einander, ein Theil dieser Verschiebung wird aber wieder dadurch aufgehoben, die Distanz des Bildes vom ersten Knotenpunkte nach hinten gerechnet, etwas gr ausfällt, als die wahre Entfernung des Punktes vom zweiten Knotenpunkte ist. I eine in wässriger Feuchtigkeit liegende Linse die Entfernung der Knotenpunkte einander $d$, die Entfernung des Punktes $c$ vom hinteren Knotenpunkte $a$, und Brennweite der Linse, so ist die scheinbare Verschiebung $x$ des Punktes $c$ nach wenn man die höheren Potenzen von $\frac{a}{p}$ vernachlässigt, gleich

$$x = d - \frac{a^2}{p}$$

In Listing's schematischem Auge ist für die in wässriger Feuchtigkeit liegende Linse:

$$d = 0{,}203 \text{ mm}$$
$$a = 1{,}424 \text{ „}$$
$$p = 44{,}301 \text{ „}$$
$$x = 0{,}157 \text{ „}$$

Die Messungen an todten Linsen (S. 102) ergaben:

$$a = 1{,}546 \qquad 1{,}499$$
$$p = 45{,}14 \qquad 47{,}43,$$

was mit Listing's Annahmen hinreichend übereinstimmt; $d$ konnte ich leider nicht genau genug bestimmen, weil sich in dieser sehr kleinen Gröſse die Fehler in der Bestimmung der Dicke der Linse und der Abstände der beiden Knotenpunkte von den betreffenden Linsenflächen addirten.

Wende ich den gefundenen Werth der Correction $x$ auf die von mir durchgemessenen Augen an, (wie dies auszuführen, wird in § 12 beschrieben werden), so ergiebt sich:

| | | O. H. | B. P. | J. H. |
|---|---|---|---|---|
| Abstand vom Scheitel der Hornhaut | der hinteren Linsenfläche | 7,172 | 7,232 | 7,141 |
| | der Pupille | 4,024 | 3,597 | 3,739 |
| | Dicke der Linse in mm: | 3,148 | 3,635 | 3,402 |

Diese Werthe der Linsendicke sind kleiner, als man sie an todten Augen gefunden hat.

Krause giebt an, an solchen 1¾ bis 2⅜ par. Lin. (4,05 bis 5,4 mm) gefunden zu haben, ich selbst fand 4,2 und 4,3 mm. Nun wölbt sich die vordere Linsenfläche in die Pupille ein wenig, und ihre Mitte tritt deshalb etwas vor die Ebene des Kreises vor, an der die Pupille ihr anliegt, und diese Wölbung könnte der Dicke der Linse hinzugerechnet werden. Die Höhe der Wölbung beträgt nach den in den Messungen gebrauchten Augen von mir gefundenen Werthen des Durchmessers der Pupille und Krümmungshalbmessers der vorderen Linsenfläche:

| O. H. | B. P. | J. H. |
|---|---|---|
| 0,266 | 0,166 | 0,153 |

Dann würde die Dicke der Linse

| | | |
|---|---|---|
| 3,414 | 3,801 | 3,555. |

Aber auch diese Werthe reichen noch nicht an die der todten Linsen, doch ist es auch fraglich, ob man die ganze Höhe der Wölbung hinzurechnen darf, da dem Rande der Pupille, da wo er der Linse anliegt, auch noch eine Dicke von einigen Viertel Millimeter gegeben werden muss, um welche der von vorn sichtbare Rand der Linsenfläche entfernt bleiben wird. Andererseits erscheint es unwahrscheinlich, dass bei diesen Messungen ein Fehler von einem halben Millimeter begangen sein sollte.

Auch neuere Messungen bestätigen dies Ergebniſs. Herr A. v. Reuss[1] findet bei Emmetropen zwischen 3,5 bis 4,19 Linsendicke, bei Kurzsichtigen sogar nur 2,97 bis ... Um die Reflexe zu verstärken hat er Drummond'sches Licht, Herr Rosow[2] vor Sonnenlicht angewendet.

1) A. v. Reuss, Gräfe's Archiv für Ophthalm. XXIII. (1). S. 241–243.
2) Rosow, Gräfe's Archiv für Ophthalm. XI. (2). S. 129.

… die Brechungsverhältnisse von Kalbslinsen unmittelbar nach … merklich gleich gefunden hat, so ist es unwahrschein- … Aufnahme von Wasser sich verdicke. Dann müssten wir … Brechungsvermögens erwarten. Dagegen erscheint es möglich, … Veränderungen der Linse beim Fern- und Nahesehen … unten in § 12 noch zurückkommen werden.

… der Cardinalpunkte des Auges.

… auseinander zu setzen, in wie weit sich bis jetzt die optischen … bestimmen lassen.

… Krümmungsradius der Hornhaut, und $n$ das Brechungsvermögen … so ist die vordere Brennweite der Hornhaut nach § 9 Glei-

$$F_1 = \frac{r}{n-1},$$

… derselben:

$$F_2 = \frac{n.r}{n-1},$$

… Annahmen wird:

$$F_1 = 23\frac{9}{13}, \quad F_2 = 31\frac{9}{13}.$$

… den Beobachtungen von Senff $r = 7{,}8$, was auch ungefähr mit … Beobachtungen stimmt, und nach W. Krause $n = 1{,}342$, so wird:

$$F_1 = 22{,}81, \quad F_2 = 30{,}61.$$

… Linse seines schematischen Auges das Brechungsverhältnifs $\frac{16}{11}$, … und Krümmungsradien von 10 und 6 mm. Nach § 9 Gleichung … giebt dies für den Fall, wo die Linse in wässriger Feuchtigkeit … mm, den Abstand der Hauptpunkte von einander 0,2461 mm, … vorderen Hauptpunktes von der vorderen Linsenfläche 2,3462, … von der hinteren Fläche 1,4077. Diese Annahmen stimmen sehr … vorher angeführten Werthen, welche ich selbst an zwei Krystal- … durch directe Messung gefunden habe. Dafs es bisher … der Form und den Brechungsindices der verschiedenen Linsen- … zu berechnen, ist oben auseinandergesetzt und namentlich … diese Brennweite aufgestellten Theorem hervor, dafs es unrichtig … durch eine homogene Linse ersetzen zu wollen, welche die Form … Brechungsvermögen derselben habe, wie das von den älteren Optikern … sondern dafs im Gegentheile einer solchen Linse ein höheres Brechungs- … dichtesten Theile beigelegt werden müsse. Für die Linse eines … für dieses totale Brechungsvermögen 1,539, während Grenz- … die Werthe 1,374 und 1,453 ergaben. Die aus meinen Messungen … des totalen Brechungsvermögens sind niedriger (1,4519 und 1,4414), und … dem Mittel der Werthe, welche W. Krause für das Brechungsverhältnifs … hat (Max. 1,4807, Min. 1,4252; Mittel 1,4541). Listing hat vor meinen … Untersuchungen damit sehr übereinstimmend $\frac{16}{11} = 1{,}4545$ gewählt.

… der Unterschied zwischen todten und lebenden Linsen, den meine … als constant herausstellen, so würde Listing's schematisches Auge … einem nahesehenden Auge entsprechen, und wir würden der Linse

… Artikel „Sehen" in R. Wagner's *Handwörterbuch d. Physiologie*. Bd. III. S. 290.

83 Da der jü ... noch nicht kannte, und darau
dem Tode und ... enden Flächen des Auges unter seh
lich, dafs die ... otenpunkte und Hauptpunkte bezüg
nämlich eine ... krechte Incidenz gelten. Auch Bro
dafs dieser ... kmann's Versuchen über den Knote
zusammenhä ... schiefen Incidenzen die Netzhautbild
... alle Richtungslinien sich in einer
... beitragen, bei Volkmann's Versuch de
... etwas gröfser erscheinen zu lassen, als

Es ... 
Cardinal ... 
84 Ne ... wie man die Centrirung des Auges, di
der wä ... ersuchen kann. Es dienen dazu die Spiegel
chung ... Linsenflächen von einem vor dem Auge b

die ... ier, und die Art, sie am besten zu beobachte
... es genau centrirten Auges, bei $a$ das Aug
... obachters, bei $b$ ein Licht, es sei $a c = c b$ un
... krecht auf $c d$. Unter diesen Umständen würde
... icht ersichtlich ist, die in der Axe gelegene
... el der drei reflectirenden Flächen, der Hor
... der vorderen und hinteren Linsenfläche, Lich
... es von $b$ auf sie fällt, von $b$ nach $a$ reflectire
... les auf beiden Seiten symmetrisch sein soll; u
... das Auge und Licht ihren Platz tauschte
... dasselbe wieder der Fall sein müssen, u
... würden die drei reflectirenden Punkte in de
... en perspectivischen Stellung zu einander bleibe
... entlich würde in beiden Stellungen der Refl
... der vorderen Linsenfläche etwa in der Mit
... schen den beiden anderen erscheinen müssen,
... er scheinbare (durch die Hornhaut gesehene) O
... r vorderen Linsenfläche etwa in der Mitte zwisch
... er Hornhaut und dem scheinbaren Orte der hinter
... nsenfläche sich befindet.

Die Untersuchung des Auges in dieser Wei
... nun leicht auszuführen. Es sei $a b$ ein horizontal
... stab, an dessen Enden passende Oeffnungen f
... Dem untersuchten Auge $d$ werde ein Platz in d
... itte von $a b$ senkrecht steht, und man gebe ihm ein
... Körper $g$, den man so lange verschiebt nach ob
... der Beobachter den Reflex der vorderen Linsenfläc
... dem der hinteren Linsenfläche erblickt[2] Dann ve
... seines Auges, und versuche, ob er bei derselb
... von der anderen Seite her die drei Reflexe in d

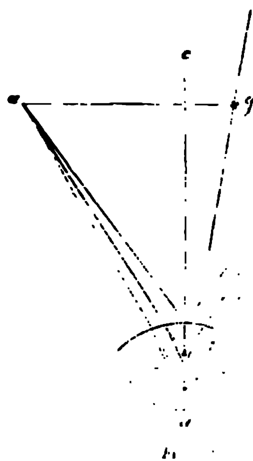
... Aug. S. 56–60.

... (Pflüger's Archiv. Bd. 35. S. 390.) gegenüber, beme
... Stellung des Gesichtszeichens $g$ das mittlere Bild auffäl
... ist es daher fast indifferent, ob man die Abstände
... ausseren im Verhaltniss 12 : 10 theilt. Der genannte Au
... Probe auf seine Rechnungen gemacht, ob überhaupt irge
... den ist, bei dem sich ein lebendes Auge symmetri

den Unterschied zwischen Augenaxe und G . . . dafs die Lichtstrahlen bei diesem Versuche . . . grofsen Einfallswinkeln treffen, und die . . . lichen Sätze streng genommen nur für . . . bemerkte deshalb bei der Wiederholung . . . punkt in weifsen Kaninchenaugen, dafs . . . der Augenaxe näher fallen, als sie es . . . Punkte schnitten. Beide Ursachen m . . . Abstand des Knotenpunktes von der . . . wirklich ist.

86 Endlich will ich hier noch b . . . Lage der Augenaxe und der Gesich . . . bilder, welche die Hornhaut und . . . findlichen hellen Lichte entwerfe . . .

Ueber das Aussehen dieser . . . s § 12. Es sei in *Fig. 58 c d* . . .



das Auge und de . . . Linie *c d* ang . . . Fixations . . . und . . . zwischen . . . tausch . . . Stellung . . .

. . . der den Bau des Aug . . . wies, dafs die optischen . . . von Thieren die Netzhaut . . . diesen Versuch 1625 zu R . . . der des Wassers gleich, die . . . endlich verfertigte eine kün . . . Vorgänge des Sehens, den . . .

. . . emlich allgemeine Anerkennung, . . . en sich in Widersprüchen dageg . . . welche die Existenz des Netzhautbil . . . ches Bild der Gegenstände entsteher . . . rken, und hält das durch Spiegelu . . . Object des Sehens. J. READE[7] stimm . . . hhaut empfinden. MAYER[8] widerlegt di . . . wunderliche auf, dafs die Netzhaut als . . . das Bild gegen den Glaskörper refle . . . sen.

. . . punkte betrifft, so erhob sich zunächst . . . weil nach der Rechnung, die auf d . . . verhältnisse des Auges gestützt war, dieser . . . Der Grund davon lag darin, dafs man fü . . . hältnifs ihrer einzelnen Schichten wählen zu m . . . anzunehmen zu müssen, dafs das Brechungsverhä . . . zunehme. PAPPENHEIM[12] will wirklich . . . durch den Versuch gefunden haben. Ueber . . . herrschte vor den theoretischen Arbeiten von . . . und Physiologen, weil die Theorie der opti . . . sich mit Systemen brechender Flächen besch . . . vernachlässigt werden konnte, wie das z. B . . . der Fall war. Im Auge ist die Entfernung . . . Vergleich zur Brennweite des ganzen Systems . . . der mangelnden Ausbildung der Theorie wufste . . . nicht scharf zu stellen. Man suchte lange nach . . . Mittelpunkte der Glaslinsen entspräche und da . . . gegangene Strahl ungebrochen durch die A . . . Knotenpunkte in einen zusammenzuziehen erla . . . Punkte entsprechen. Man verwechselte namentlich . . . in welchem sich Linien schneiden, welche . . . Punkte verschieden entfernter Gegenstände . . . Kreuzungspunkt der Visirlinien nennen wolle . . . gezogen werden, der Mittelpunkt des von der Hor . . .

. . . Lugduni . . . p. 112
. . . Vindob. 18 . . .
. . . IV. . . .
. . . Paris 18 . . .
. . . S. 161
. . .
. . . Das . . . Citat ist falsch.
. . . London . . .
. . . 1849. Dec.
. . . XIV . . .
. . . XXV . . .

[...]esentlich vom Knotenpunkte verschieden. MUNCKE[1] [...] in die Mitte der Linse, BARTELS[2] dagegen in [...]nnt den Punkt, wo sich Linien, die von [...] den entsprechenden Bildern des Objects ge[...]unkt der Richtungsstrahlen, später, nach [...]inien. Er zeigt experimentell an Augen weifser [...]ngslinien in einem Punkte sich schneiden, und be[...]lcher zwischen beide Knotenpunkte fallen mufs, für [...] derselbe hinter die Linse fällt. Er versuchte den[...]n Methode am lebenden menschlichen Auge zu finden. [...] Haarvisire werden durch zwei dem Auge nähere Diopter [...]ngestellt, dafs die Haare gleichzeitig in der Mitte der [...] Jedes Haar mit der zugehörigen Diopteröffnung, durch [...]n, giebt eine Visirlinie. VOLKMANN würde also den Kreuzungs[...] Auge haben finden können, wenn die von ihm beobachteten [...]wesen wären, gleichzeitig und ohne Bewegung des Auges beide [...]rn zu sehen. Dies ist aber aufserordentlich schwer, weil man dann [...]n kann, und das andere durch indirectes Sehen auf den Seiten[...]t erkennen mufs. Die Experimentirenden haben deshalb ohne Zweifel [...]ter nach einander direct betrachtet, und ihre Visirlinien schnitten sich [...]unkte des Auges, den VOLKMANN demzufolge für identisch mit dem Kreuzungs[...] Richtungslinien erklärte.

[...] KNOCHENHAUER[5] und STAMM[6] stritten gegen VOLKMANN's Folgerungen. [...] zeigte, dafs Richtungslinien und Visirlinien nicht nothwendig identisch seien, [...]klärte den Mittelpunkt der Hornhaut für den Kreuzungspunkt der Richtungslinien, [...] die Brechung in der Linse glaubte vernachlässigen zu dürfen. Daraus folgert [...], dafs die Richtungslinien nicht nothwendig durch die Mitte eines Zerstreuungs[...] zu gehen brauchen, welcher im Auge von einem nicht deutlich gesehenen Objecte [...]en wird KNOCHENHAUER suchte MILE's Beweis, dafs das Decken der Bilder im [...]sfelde unabhängig sei von den Richtungslinien, zu vereinfachen, und vermeidet MILE's bei dem damaligen Stande der theoretischen Kenntnisse allerdings bedenk[...]d in der That nur annähernd richtige Voraussetzung, dafs der Kreuzungspunkt [...]chtungslinien für verschiedene Objectabstände gleich sei. Auch BUROW[7] wider[...] VOLKMANN's Folgerungen, benutzte dessen Methode, um den Drehpunkt des Auges [...]mmen, und schlug einen neuen Weg ein, den Kreuzungspunkt der Richtungs[...] zu bestimmen, der aber aus einem von LISTING später aufgedeckten Grunde auch [...] Ziele führte.

MOSER[8] war der Erste, der die theoretischen Arbeiten von GAUSS[9] und BESSEL[10] [...] Auge anwendete, und aus den bis dahin ausgeführten Bestimmungen der Form [...]chenden Flächen und der Brechungsverhältnisse die Lage der beiden Knoten[...] die er ubrigens Hauptpunkte nennt, berechnete. Die Werthe, welche er für die [...]nung dieser Punkte von der Hornhaut fand, waren 3,19 und 3,276 Par. Lin. (7,18 [...]7 mm Da er aber als Brechungsverhältnifs der Krystallinse BREWSTER's Mittel- 1,3839 angenommen hatte, und die Strahlen ferner Lichtpunkte sich dabei erst

[1] [...] GEHLER's physik. Wörterbuch neu bearb Leipzig 1828. Art. Gesicht. Bd. IV 2. S. 1434*.
[2] [...] A BARTELS. Beiträge zur Physiol. d. Gesichtssinns. Berlin 1834. S. 61.
[3] A. W. VOLKMANN, Neue Beiträge zur Physiol. d. Gesichtssinns. Leipzig 1836. Kap. IV. - Poggendorff's [...] XXXVII [...]42.
[4] [...] Poggendorff's Ann. XLII. 37—71. 235—263*. Dagegen A. W. VOLKMANN, Pogg. Ann. [...]
[5] [...] W. KNOCHENHAUER, Pogg. Ann. XLVI. 248. 258*.
[6] [...] STAMM, Pogg. Ann. LVII. 346—382*.
[7] A. B[...] W. [...] Beiträge zur Physiologie u. Physik d. menschl. Auges. Berlin 1841. S. 26—93.
[8] [...] MOSER, [...] Repertorium der Physik V. 337 u. 373.
[9] [...] GAUSS, Dioptrische Untersuchungen. Göttingen 1841.
[10] [...] W. BESSEL, Astronomische Nachrichten. XVIII. Nr. 415.

hinter der Netzhaut vereinigten, glaubte er den Radius der Hornhaut verkleiner müssen von 3''',39 auf 2''',88, und berechnete danach noch andere Werthe für den Ab der Knotenpunkte von der Hornhaut, nämlich 2''',835 und 2''',890 (6,38 und 6,50

LISTING [1] erörterte die Eigenschaften der Haupt- und Knotenpunkte (welchen letz er den Namen gab) in ihrer Beziehung zum Auge, gab angenäherte Werthe für Lage, und hob namentlich hervor, dafs der Brechungscoefficient der Linse, wenn diese sich homogen denke, höher gesetzt werden müsse als der ihres dichtesten T VOLKMANN [2] machte dann noch den schon oben erwähnten Versuch, die Lage der Kn punkte im lebenden menschlichen Auge experimentell zu bestimmen. Endlich LISTING [3] neben einer vollständigen mathematischen Theorie eine Berechnung der Za werthe nach den besten bis dahin ausgeführten Messungen.

---

## 90 § 11. Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut.

Wenn Licht von einem leuchtenden Punkte in das Auge fällt, so b dasjenige, welches durch die kreisförmige Pupille hindurchgegangen ist, hi der Pupille einen Strahlenkegel, dessen Basis kreisförmig und nach v dessen Spitze nach hinten gekehrt ist, und dem Bilde des leuchtenden Pun entspricht. Jenseits ihres Vereinigungspunktes divergiren die Strahlen wie Es sei in *Fig.* der leuchtende Pu $b, b_{,,}$ die Pupill der Convergenzp der Strahlen, $c\,d_{,}$ Verlängerung Strahles $b_{,}\,c$, eb $c\,d_{,,}$ die Verlänge von $b_{,,}\,c$.



*Fig. 59.*

Wenn der Vereinigungspunkt der Strahlen gerade auf die Fl der Netzhaut trifft, so beleuchtet der einzelne leuchtende Punkt $a$ nur e einzelnen Punkt $c$ der Netzhaut, und es wird ein scharfes Bild des leuch den Punktes entworfen. Wenn aber die Netzhaut vor oder hinter dem einigungspunkte der Strahlen, etwa in $f, f_{,,}$ oder in $g, g_{,,}$ von dem Stra kegel getroffen würde, so würde nicht blos ein einzelner Punkt, sondern dem kreisförmigen Durchschnitte des Strahlenkegels entsprechende Kreisfl der Netzhaut erleuchtet werden. Man nennt einen solchen von dem L eines leuchtenden Punktes aufserhalb des Auges beleuchteten Kreis der N haut einen Zerstreuungskreis. Die Kreisform entspricht, wie aus Gesagten erhellt, der kreisförmigen Gestalt der Pupille. Wird deren F oder die Grundfläche des einfallenden Lichtkegels geändert, was namen auch dadurch geschehen kann, dafs man einen Schirm mit einer beliebig stalteten kleinen Öffnung von kleinerem Durchmesser als die Pupille

---

[1] J. LISTING. *Beitrag zur physiologischen Optik.* Göttingen 1845.
[2] J. VOLKMANN, R. WAGNER'S *Handwörterbuch d. Physiologie.* Art. Sehen. S. 286*
[3] J. LISTING, R. WAGNER'S *Handwörterbuch der Physiologie.* Art. *Dioptrik des Auges.*

e Hornhaut bringt, so erhalten auch die Zerstreuungsfelder eine entende andere Form, welche, auf den mittleren Theilen der Netzhaut tens, der Grundfläche des Strahlenkegels geometrisch ähnlich ist. Sehr Zerstreuungsbilder im Auge, welche in geringer Entfernung vom Verngspunkte der Strahlen auf der Netzhaut entworfen werden, zeigen nde Abweichungen von diesen Regeln, wovon wir in § 14 weiter n werden.

Objectiv kann man das Entstehen der Zerstreuungsbilder leicht nach-, indem man eine Sammellinse aufstellt, vor ihr in einiger Entfernung eines Licht, oder besser einen Schirm mit einer engen Öffnung, durch ein Licht scheint, und das Bild der Lichtquelle hinter der Linse auf weifsen Papiere auffängt, welches man der Linse bald nähert, bald von tfernt. Dabei sieht man, dafs nur in einer gewissen Entfernung von nse das Bild des Lichtpunktes scharf gezeichnet und punktförmig ist, sich zu lichten Kreisen ausdehnt.

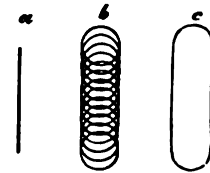


Fig. 60

Bringt man vor der Linse als Object eine helle Linie B. einen schmalen Spalt in einem dunklen Schirme, welchem ein Licht steht, so decken sich die Zerngskreise der einzelnen hellen Punkte dieser Linie, Fig. 60 b angedeutet ist, theilweise, und es erscheint ler scharfen Linie a eine helle Figur ähnlich der c. Wird eine scharf begrenzte gleichmäfsig helle Fläche em Zerstreuungsbilde abgebildet, so bleibt die Mitte äche in unveränderter Helligkeit, die Ränder aber erscheinen vern, so dafs an ihnen die Helligkeit der Mitte der Fläche allmälig in elligkeit des umgebenden Grundes übergeht.

Dergleichen Zerstreuungsbilder können nun auch im Auge entworfen n. Allerdings können wir nicht die Netzhaut willkürlich hin- und her- gleich dem Papierschirme bei der beschriebenen objectiven Darstellung erstreuungsbilder, aber wir können den leuchtenden Punkt dem Auge n und ihn davon entfernen, so dafs sein Bild im Glaskörper vor- und weicht. Wie bei einem jeden optischen Systeme von kugeligen brechenlächen liegen die Bilder verschieden entfernter Gegenstände auch beim m verschiedenen Entfernungen von den brechenden Flächen. Das Bild unendlich weit entfernten hellen Punktes liegt in der hinteren Brenndes Auges, das Bild eines näheren leuchtenden Punktes hinter der ebene. Wenn also eines von diesen Bildern auf die Netzhaut fällt und gezeichnet ist, so bildet das andere nothwendig einen Zerstreuungs-. Daraus folgt:

Wir können verschieden weit vom Auge entfernte Gegenstände nicht gleichzeitig deutlich sehen.

Um sich davon zu überzeugen, halte man in der Entfernung von etwa vor dem Auge einen Schleier oder ein anderes durchsichtiges Gewebe, hinter in etwa 2 Fufs Entfernung ein Buch, und schliefse ein Auge.

hinter der N... ...man es in seiner Gewalt hat, nach ein müssen von ... ...ald die Buchstaben des Buches zu der Knote... ...aber die Buchstaben undeutlich werden Li... ...betrachtet, und dafs der Schleier nur er den N... ...erdunkelung des Gesichtsfeldes erscheint Lage, ... ...t. Wenn man, ohne die Richtung des diese ... ...äheren, bald den ferneren Gegenstand be- Vo... ...chen Wechsel, dafs das Auge eine gewisse p... L... w... ...echsel zu Stande zu bringen.

... man mannigfach variiren. Man wende sich ...ite etwa 6 Zoll vor dem Auge senkrecht eine ... horizontalen Stäbe des Fensters kreuzt, so kann ...hen, während dabei der Stab des Fensterkreuzes ... Streifen erscheint, oder das Fensterkreuz und die ...aft draufsen fixiren, während die Nadel nur noch ...nkler Streifen im Gesichtsfelde erscheint. Ebenso, ... von 1 bis 2 Linien Durchmesser nach fernen Gegen-... bald diese, bald die Ränder des Loches scharf sehen, ... Indessen ist der Versuch in seiner ersten Gestalt ... und dabei zugleich jeder Verdacht, dafs eine Änderung ... ...ave von Einflufs sei, am besten beseitigt.

... Versuchen überzeugt man sich, dafs, wenn man auch ... verschieden entfernte Gegenstände deutlich sehen kann, ...enn man sie nach einander betrachtet, und dafs man will-... bald den anderen deutlich, mit scharf begrenzten ...lern.

... ...he Veränderung, welche im Zustande des Auges vor ... ferne, bald nahe Gegenstände deutlich zu sehen, nennt ... ...odation oder Adaptation des Auges für die Entfernung ...

... ...erne Objecte kann sich die Entfernung des Objects sehr be-... ...ändern, ohne dafs die Entfernung seines optischen Bildes von ... des Auges sich merklich ändert. Wenn ein Auge für ... ...ernung accommodirt ist, so sind die Zerstreuungskreise auch ... von etwa 12 Meter Entfernung immer noch so klein, dafs keine ... ...deutlichkeit des Bildes entsteht. Ist aber das Auge für einen ... ...nd accommodirt, so erscheinen Gegenstände in sehr kleinen ... vor oder hinter jenem schon undeutlich. Den Theil der Gesichts-... welchem die bei einem gegebenen Accommodationszustande des ... merkliche Undeutlichkeit sichtbaren Objecte liegen, hat J. CZERMAK ... ...modationslinie genannt. Die Länge dieser Accommodations-... ...desto gröfser, je weiter ihr Abstand vom Auge ist, und für einen ... ...sen Abstand unendlich grofs.

Von dem angegebenen Verhalten kann man sich leicht überzeugen, wenn man vor einem bedruckten Blatte in der Entfernung eines oder einiger Zolle 93
eine Spitze als Fixationspunkt befestigt. Nähert man sich mit dem Auge der Spitze, so weit man sie deutlich sehen kann, und accommodirt das Auge für die Spitze, so erscheinen die Buchstaben undeutlich: je weiter man sich aber entfernt, immer das Auge für die Spitze accommodirend, desto deutlicher werden sie.

Eben weil die Zerstreuungskreise ferner Gegenstände sehr klein sind, wenn das Auge für andere ferne Gegenstände accommodirt ist, ist es auch möglich zu visiren, d. h. zu erkennen, ob verschieden entfernte Punkte an einer Stelle des Gesichtsfeldes liegen. Streng genommen kann man immer nur einen der beim Visiren betrachteten Punkte deutlich sehen, die anderen in grösseren und kleineren Zerstreuungskreisen. Eine genaue Deckung zweier Punkte nehmen wir an, wenn der deutlich gesehene Punkt in der Mitte des Zerstreuungsbildes des anderen liegt. Eine Linie, welche durch zwei sich deckende Punkte gezogen ist, nennen wir Visirlinie. Die Visirlinien kreuzen sich in einem Punkte des Auges, nämlich im Mittelpunkte des von der Hornhaut entworfenen Bildes der Pupille, dem Kreuzungspunkte der Visirlinien.

Dafs bei der Accommodation nicht blos, wie mehrere Physiologen früher annahmen, die Art, wie das Netzhautbildchen empfunden wird, sich verändere, sondern dafs das optische Bild auf der Netzhaut selbst Veränderungen erleide, läfst sich am unzweifelhaftesten bei der Untersuchung eines lebenden Auges mit dem Augenspiegel nachweisen. Durch dieses Instrument, welches in § 16 beschrieben werden wird, kann man den Hintergrund des Auges, also die Netzhaut mit ihren Gefäfsen und die auf ihr entworfenen Bilder, deutlich sehen. Läfst man das beobachtete Auge einen Gegenstand in einer gewissen Entfernung fixiren, so findet man, dafs das Bild eines Lichtes, welches in derselben Entfernung steht, auf der Netzhaut ganz scharf entworfen wird, während man in dem hellen Grunde des Bildes auch die Gefäfse und anderen anatomischen Einzelheiten der Netzhaut deutlich sieht. Wenn man aber das Licht sehr nähert, wird sein Bild undeutlich, während die Einzelheiten des Gewebes der Netzhaut deutlich bleiben. Die Versuche, die Veränderungen der Bilder an todten Augen, denen man den hinteren Theil der Sclerotica und Chorioidea weggenommen hatte, oder an Augen weifser Kaninchen, deren Sclerotica sehr durchscheinend ist, zu sehen, sind meist gescheitert, weil unter diesen Umständen die Bilder überhaupt nicht mehr genau genug sind, um kleine Veränderungen an ihnen wahrzunehmen. Auch für das lebende Auge sind nur an verhältnifsmäfsig feinen Gegenständen die Veränderungen des Bildes bei veränderter Adaptation auffällig. Gröfsere Gegenstände erkennen wir auch bei unpassender Accommodation noch ihrer Form nach. In dem Netzhautbilde eines todten Auges erscheinen aber überhaupt nur noch gröfsere Objecte, die feineren sind verwischt, wie man sogleich erkennt, wenn man es künstlich vergröfsert, so dafs die Bilder dem

so wird man sich leicht überzeugen, dafs … dem beobachteten Auge. ander bald die Fäden des Schleiers, … betrachten und deutlich zu sehen, dafs … mmodationserscheinungen und während man die Fäden des Schleiers … der Strahlen zur Netzhaut noch als eine leichte gleichmäfsige Ve… he durch ein Kartenblatt mit während man die Buchstaben fixirt … kleiner ist als der Durchmesser Auges zu verändern, bald den näh… iden Löcher nach einem feinen trachtet, fühlt man bei jedem solch… Grunde oder hell auf dunklem Anstrengung macht, um den Wech… Nadel, die man vor den hellen

Denselben Versuch kann m… vertical, wenn die Löcher des nach einem Fenster und halte … liegen, dagegen horizontal, wenn Nadel, so dafs sie einen der h… fixirt man nun die Nadel selbst, so man entweder die Nadel fixirt… einen näheren oder ferneren Gegen- als verwaschener dunkler Stre… man dann von der Seite her einen Gegenstände der Landschaft … eines der Löcher verdeckt, so findet als ein verwaschener dunkle… adel einfach ist, keine andere Verände- wenn man durch ein Loch v… r wird. Sieht man dagegen die Nadel ständen sieht, kann man b… ecken der Oeffnung eines der Doppel- nie aber beide zugleich. … stehen bleibt, und zwar verschwindet, am überraschendsten, und … als die Nadel ist, fixirt, das linke Bild in der Richtung der Seh… nten Loches; wenn man aber das Auge

Bei allen diesen Ve… chtet hat, verschwindet das rechte Bild nicht gleichzeitig zwei v… ches. Hat man sich noch nicht genügend dies doch gelingt, indem … Ferne zu accommodiren, ohne dafs man kürlich bald den einen… hat, so stelle man zwei Nadeln hinter Umrissen erblicken k… unde auf, die eine in 6 Zoll, die andere

Die eigenthümlich… rizontal, die andere vertical, und fixire die sich geht, um bald … anderen zu sehen, wobei man natürlich die man die Accommo… uer gegen die Richtung der Nadel stellen des Objects. … weil.

Für sehr fern… n Kartenblatt, welche nahe genug zusammen- trächtlich veränder… Pupille gebracht zu werden, so erscheinen den Hauptpunkt … drei Bilder der Nadel. Haben die Löcher unendliche En… die Stellung wie in *Fig. 61 a*, so er- für Objecte v… scheinen bei der Accommodation für merkliche U… einen näheren Gegenstand drei Nadeln nahen Gege… in der Stellung wie bei *b*, so dafs ihre Distanzen … Köpfe die Stellung der Löcher in gleichem linie, in … Accommodation für einen ferneren Gegenstand Auges ohn… Stellung *c*, so dafs ihre Köpfe ein umgekehrtes die Accom… Löcher geben. Ganz dieselben vielfachen Bilder linien ist … hellen Gegenstand auf dunklem Grunde, eine sehr grofs… Spaltes, durch welche Licht fällt, oder ein Nadel- … reflectirt, betrachtet.

.' · Erklärung dieser Versuche ergiebt sich leicht aus entsprechenden · mit Glaslinsen. Es sei *Fig.* 62 *b* eine Sammellinse, vor welcher ::: hsichtiger Schirm mit zwei Oeffnungen *e* und *f* angebracht ist; · .n leuchtender Punkt und *c* der Vereinigungspunkt für seine Strahlen, · · sie durch die Linse gegangen sind. Es werden demgemäfs alle · n der beiden Strahlenbündel, welche durch die beiden Oeffnungen des .· *e* und *f* gehen, sich im Punkte *c* schneiden, und ein weifser Schirm, .r in *c* angebracht ist, wird nur eine helle Stelle als Bild des Lichts Ein Schirm aber, der vor dem Vereinigungspunkte in *m m*, oder 95
ihm in *l l* angebracht ist, wird die den beiden Oeffnungen ent- ıenden Strahlenbündel gesondert auffangen und zwei helle Stellen

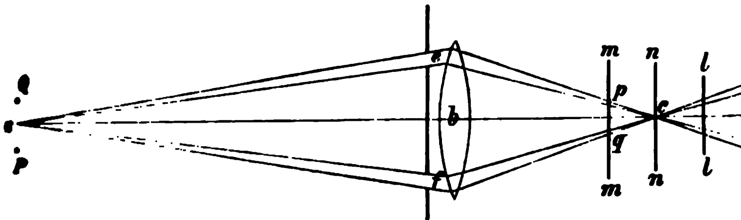



*Fig.* 62.

ı Denkt man sich statt der Glaslinse die brechenden Mittel des ·. statt des Schirms die Retina gesetzt: so ergiebt sich analog, dafs unkt der Retina vom Lichte getroffen wird, wenn ihre Fläche durch ereinigungspunkt der Strahlen geht, zwei Punkte dagegen, wenn sie vor oder hinter dem Vereinigungspunkte der Strahlen befindet. Die ng des Schirms in *m* entspricht dem Falle, wo das Auge für einen en. die bei *l*, wo es für einen näheren Gegenstand accommodirt Nur ein scheinbarer Widerspruch zeigt sich. Wenn man nämlich m Versuche mit der Glaslinse die obere Oeffnung *e* des durch- igen Schirms verdeckt, verschwindet bei der Stellung des Schirms in *m* nseitige obere Bild, bei dem fernsehenden Auge aber das entgegen- nte. Bei der Stellung des Schirms in *l* verschwindet umgekehrt bei Glaslinse das entgegengesetzte, in dem nahsehenden Auge dagegen das seitige Bild. Der Widerspruch erklärt sich dadurch, dafs die Bilder er Netzhaut stets umgekehrt sind, also einem tiefer liegenden lichten stande ein höher stehendes Bild auf der Netzhaut entspricht. Wird die in *m* stehende Netzhaut bei *p* und *q* von Licht getroffen, so ist der Sehende von dem oberen Punkte *p* auf einen im Gesichtsfelde alb des wirklichen leuchtenden Punktes bei *P* liegenden Gegenstand, us dem unteren Punkte *q* auf einen oberhalb bei *Q* liegenden. Wird ffnung *e* verdeckt, so verschwindet demnach der obere helle Punkt *p* r Netzhaut, und der Experimentirende glaubt deshalb den Gegenstand *P* unden zu sehen, welcher der verdeckten Oeffnung entgegengesetzt ist.

Umgekehrt ist es beim Fixiren eines nahen Gegenstandes, wo die Netz
dem Schirme in $l$ entspricht.

Bringt man vor der Glaslinse einen Schirm mit drei Oeffnungen, w
*a Fig. 61*, an, so entstehen auch drei lichte Punkte auf dem in $m$ o
gestellten Schirme, und zwar in $m$ gleich, in $l$ dagegen entgegengesetzt
richtet als auf dem vorderen Schirme; also wieder umgekehrt, als es sc
bar im Auge der Fall ist, was sich in derselben Weise erklärt, wie
auseinandergesetzt ist.

Bringt man vor die Glaslinse einen Schirm mit einer Oeffnung,
bewegt ihn hin und her, so bleibt das Bild des lichten Punktes unbeweg
wenn (siehe in *Fig. 62*) der Vereinigungspunkt $c$ der Lichtstrahlen in
auffangenden Schirm fällt. Steht dieser Schirm aber vor $c$ in $m$, so be
sich das Bild in demselben Sinne wie die Oeffnung vor dem Glase. S
der auffangende Schirm in $l$ hinter dem optischen Bilde, so bewegt es
96 in entgegengesetzter Richtung. Entsprechendes findet beim Auge s
Sieht man durch eine kleine Oeffnung eines Kartenblatts nach einer N
fixirt einen fernen Gegenstand und bewegt das Kartenblatt, so bewegt
die Nadel scheinbar in entgegengesetztem Sinne. Fixirt man dagegen e
näheren Punkt, so bewegt sie sich in gleichem Sinne wie das Kartenb
Die Erklärung dieser Versuche ergiebt sich leicht aus dem Vorausgeschick
wenn man für *Fig. 62* annimmt, dafs der Schirm nicht zwei Oeffnun
sondern nur eine hat, die sich bald in $e$, bald in $f$ befindet.

Man kann einen Schirm mit enger Oeffnung, welche man vor das A
bringt, auch benutzen, um Gegenstände deutlich zu sehen, für welche
das Auge nicht accommodiren kann. Die Grundfläche des in das Auge eindrin
den Strahlenkegels wird dadurch kleiner, und in demselben Verhältnisse auch
seine Querschnitte, zu denen auch der Zerstreuungskreis auf der Netzhaut geh

Wenn man einen nahe vor dem Auge befindlichen Gegenstand, der
halb im Zerstreuungsbilde erscheint, durch eine feine Oeffnung betrach
erscheint er aus dem angeführten Grunde deutlich und aufserdem vergröfs
Ja, er erscheint sogar gröfser, als wenn man ihn ohne Oeffnung bei dersel
Entfernung im Zerstreuungsbilde betrachtet. Seine Vergröfserung wird
so bedeutender, je mehr man die Oeffnung vom Auge entfernt. Diese
scheinungen erklären sich auf folgende Weise. Es seien in *Fig. 63* $a$ un
zwei leuchtende Punkte des Objects, $S$ der Schirm, $A$ das Auge. Vom Punkt
fällt durch die Oeffnung des Schirms nur der Lichtstrahl $am_1$ in das Au
von $b$ der Lichtstrahl $bm_2$. Ist $\beta\alpha$ das dem Objecte $ab$ entsprechende B
welches die Augenmedien entwerfen, so geht der Strahl $am_1$ nach
Brechung nach $\alpha$ und schneidet die Netzhaut in $f$; der Strahl $bm_2$ g
dagegen nach $\beta$ und trifft die Netzhaut in $g$. Zieht man von $f$ und $g$
die Linien $f\varphi$ und $g\gamma$ durch den Knotenpunkt des Auges $k$, so geben di
die Richtungen an, in welchen leuchtende Punkte beim gewöhnlichen de
lichen Sehen liegen müfsten, um sich in $f$ und $g$ abzubilden. In di
Linien verlegt unser Urtheil deshalb auch die Punkte $a$ und $b$.

'enn der Schirm sich vom Auge entfernt und dem Objecte nähert, ist ersichtlich, dafs die Punkte $m_1$ und $m_2$ und ebenso die Linien $m_1$ $\alpha$ $_2$ $\beta$ mit den Punkten $f$ und $g$ sich von der Augenaxe entfernen müssen. 'etzhautbild wird in diesem Falle also gröfser.

ehmen wir den i weg, so entwirft lichte Punkt des s einen Zerstreu- eis. Die Mittel- der Zerstreu lder von $a$ und $b$ ann auf der Netz- weniger von ein- entfernt als die e $f$ und $g$, wo diese e bei vorgehalte- Schirme sich ab-

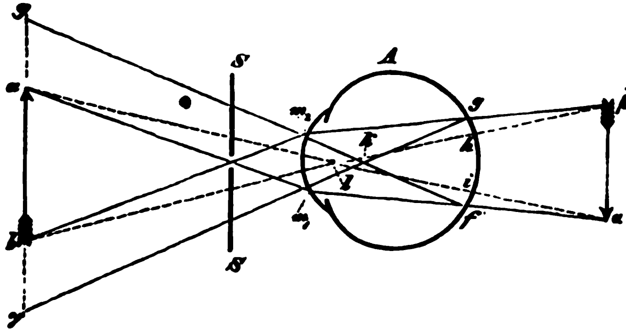



Fig. 63.

. Der Mittelpunkt der Zerstreuungskreise wird bestimmt durch den 97
rahl des Strahlenkegels, d. h. durch den Strahl, welcher durch den punkt der Pupille gegangen ist. Es sei $l$ dieser Punkt. Der von $a$ $l$ nach $\alpha$ gehende Strahl trifft dann die Netzhaut in $i$, der von $b$ $l$ nach $\beta$ gehende in $h$. Die Punkte $h$ und $i$ sind also die Mittel- der Zerstreuungsbilder, wenn der Schirm entfernt wird. Sie liegen er näher als die Punkte $f$ und $g$.

eht man dagegen durch eine enge Oeffnung nach entfernten Gegen- n, während man das Auge für die Nähe accommodirt, so erscheinen genstande kleiner, und desto kleiner, je weiter man die Oeffnung vom entfernt.

ie Entfernungen, für welche sich das menschliche Auge accommodiren sind bei verschiedenen Individuen sehr verschieden. Man nennt den uge nächsten Punkt, für den eine vollständige Accommodation aus- werden kann, den Nähepunkt, den entferntesten den Fernpunkt ccommodation.

ie Lehre von den individuellen Verschiedenheiten des Refractions- 825
s der Augen ist namentlich durch die wichtigen Arbeiten von DONDERS[1] ndig aufgehellt worden und hat denn auch schon die fruchtbarste An- ng in der Augenheilkunde gefunden, nicht blos direct für die Verbesserung haften Accommodationsvermögens durch Brillen, sondern auch indirect, eine Reihe bisher dunkler Krankheitszustände sich als Folge mangel- Refraction und Accommodation des Auges ergaben.

r Fortschritt, den DONDERS gemacht hat, hängt namentlich davon ab, getrennt hat die Erscheinungen, welche einem abnormen Refractions- im Ruhezustande des Auges angehören bei der Accommodation für

[1] DONDERS, Anomalies of accommodation and refraction. London 1864.

die Ferne, von denen, welche sich auf die grössere oder geringere Breite der Accommodation beziehen und die also in einer Aenderung des Refractionszustandes durch Muskelthätigkeit bestehen.

Für die Ansicht, dass der Zustand des Fernsehens der Ruhezustand des Auges sei, für welche schon die subjective Empfindung sehr entschieden spricht und die auch meiner oben gegebenen Darstellung zu Grunde liegt, führt DONDERS noch weiter an, dass durch gewisse narkotische Stoffe (namentlich Atropin, das Alkaloid der Belladonna) eine Lähmung des Ringmuskels der Pupille und der Accommodation hervorgebracht wird, wobei das Auge für seinen Fernpunkt eingerichtet ist, ohne diesen Refractionszustand ändern zu können. Sollte ein muskulöser Apparat da sein, dessen Contraction die Accommodation für die Ferne verstärken könnte, so müsste man die sehr unwahrscheinliche Annahme machen, dass dieser durch das Atropin nicht gelähmt, sondern in eine dauernde krampfhafte Zusammenziehung gebracht würde.

Daneben lehren pathologische Beobachtungen, dass wenn durch Lähmung des *Nervus oculomotorius* der Accommodationsapparat gelähmt wird, das Auge sich stets auf seinen früheren Fernpunkt dauernd einstellt. Dagegen sind durchaus keine Fälle von Bewegungslähmungen des Auges beobachtet worden, wobei der Fernpunkt sich genähert hätte.

826 Die gröfste Sehweite entspricht also dem Ruhezustande des Auges. Als normale Lage des Fernpunktes kann die in unendlicher Ferne betrachtet werden. Solche Augen nennt DONDERS emmetropisch (von ἔμμετρος, *modum tenens*, und ὤψ, *oculus*), um die Vieldeutigkeit des Ausdrucks „normale“ oder „normalsichtige“ Augen zu vermeiden. Emmetropische Augen können natürlich noch an mancherlei anderen Fehlern leiden und brauchen nicht „normal“ zu sein.

Augen, deren Fernpunkt vor ihnen, aber nicht in unendlicher Ferne liegt, nennt er brachymetropisch oder, mit dem älteren Namen, myopisch; diese Augen können nur divergirend einfallende Strahlenbündel auf der Netzhaut vereinigen.

Augen, die im Gegentheil nicht nur parallele, sondern auch convergirend einfallende Strahlen vereinigen können, heissen hypermetropisch.

Die myopischen Augen können sich ohne Hilfe eines Brillenglases für weit entfernte Objecte nicht einstellen; es mangelt ihnen also ein wichtiger Theil der Fähigkeit eines emmetropischen Auges. Die hypermetropischen dagegen sind genöthigt jedes Mal, wo sie ein reelles Object fixiren wollen, eine Accommodationsanstrengung zu machen, wodurch mannigfache und häufig sehr störende Ermüdungserscheinungen herbeigeführt werden. Beiderlei Arten der Abweichung sind also für den praktischen Gebrauch des Auges nachtheilig und werden deshalb von DONDERS unter dem Namen der ametropischen Augen zusammengefafst.

Der Grund dieser Abweichungen beruht der Regel nach auf der verschiedenen Länge der Augenaxe, die in den hypermetropischen kürzer i

›n emmetropischen. Damit hängt auch die Lage des Drehpunkts
ugen zusammen, der in den myopisçhen Augen weiter nach hinten,
ypermetropischen weiter nach vorn liegt. Die Hornhaut und Linse
der Regel keine Krümmungsänderungen, aus denen die Ametropie
erden könnte.

den Zustand solcher abweichender Augen vollständig zu bestimmen,
ıer die Gröfse der Veränderung bestimmt werden, welche durch
ıskelanstrengung in ihrem Brechungszustande hervorgebracht werden
Venn wir ein emmetropisches Auge, welches zwischen unendlicher
d einer Sehweite von 6 Zoll sich für jedes Object einstellen kann,
stark myopisches, welches zwischen 6 und 3 Zoll Entfernung accom-
kann, mit einander vergleichen, so scheint auf den ersten Anblick
das letztere eine viel engere Grenze der Accommodationsfähigkeit
als das letztere. Wenn wir aber dicht vor ein solches myopisches
ıe Concavlinse von 6 Zoll Brennweite setzen, welche ihm erlaubt
ı entfernte Gegenstände deutlich zu sehen, so werden wir finden,
elbe Auge mit Hilfe dieser Brille nun auch, wie das zuerst genannte
pische Auge zwischen unendlicher Ferne und 6 Zoll Abstand accom-
kann, also eine ebenso grofse Breite der Accommodation hat, wie
re. Die genannte Linse mit 6 Zoll negativer Brennweite entwirft
von Objecten, die 6 Zoll hinter ihr liegen, ein virtuelles Bild in
ntfernung, für welches sich also das supponirte myopische Auge
diren kann.

können also die Accommodationsbreite zweier verschieden fern- 827
Augen nicht unmittelbar nach dem Abstand ihres Fernpunkts vom
e mit einander vergleichen, sondern wir müssen sie durch eine
te Linse erst auf gleichen Refractionszustand gebracht denken, um
eichen zu können.

eine solche Linse die Objecte nicht vergröfsern oder verkleinern,
hr zweiter Knotenpunkt mit dem ersten des Auges zusammenfallen
praktisch, wenn es der Mühe werth erscheinen sollte, bei dicken
ıcaven Linsen erreichen lassen würde; vergleiche Seite 83 und 84).
ır die Entfernung des Fernpunktes eines gegebenen Auges vom
otenpunkte $F$, die des Nahepunktes $N$, und $A$ die Entfernung des
Punktes, für den das mit einer Linse von der negativen Brenn-
ersehene Auge sich noch accommodiren kann, so ist

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{N} - \frac{1}{F}$$

Gröfse $\frac{1}{A}$ wird von DONDERS als Maafs der Accommodationsbreite

Einheit dieses Accommodationsmaafses ist also Eins dividirt durch
›nmaafs, wozu bisher, den Brillennummern entsprechend, Pariser
ahlt sind.

n Zweckmäfsiger erscheint das von Herrn NAGEL vorgeschlagene Sys als Einheit für die brechenden Wirkungen der Linsen und deren Untersch eine Linse von einem Meter Brennweite zu brauchen (**Meterlinse**). kann dann stärker brechende Systeme herstellen, indem man mehrere M linsen an einander legt, und von andern Linsen also sagen, dafs sie gewisse Anzahl zusammengelegter Meterlinsen ersetzen. Die brechende K einer Meterlinse nennen die neueren französischen Augenärzte **eine Diopt** Sagt man also eine Linse habe $n$ Dioptrien, so heifst das, ihre Brennw sei $\frac{1}{n}$ Meter.

In diesem Sinne läfst sich auch der Grad der Myopie oder Hypermetr in Dioptrien ausdrücken, indem man angiebt, wie viel derselben die L haben müfste, welche das entspannte Auge auf unendlich einstellt.

Endlich die Angabe, dafs die Accommodation 6 Dioptrien entspre bedeutet, dafs sie die Sehweite in einem emmetropischen Auge von $\infty$ auf $\frac{1}{6}$ Meter verringert. Dieselbe Accommodationsbreite aber hätte a ein myopisches Auge, das von $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{6}$ Meter accommodiren kann, oder hypermetropisches, das von $+\frac{1}{3}$ bis $-\frac{1}{3}$ Meter reicht.

827 Die Gröfse der Accommodation $\frac{1}{A}$ nimmt mit zunehmendem Lebens continuirlich ab, und zwar bei ganz oder nahehin emmetropischen Au annähernd proportional den Jahren, so dafs sie im zehnten Jahre im Mi $13\frac{1}{2}$ Dioptrien beträgt, im 65. Jahre Null wird. Verlust der Accom dationsfähigkeit findet also im höheren Lebensalter regelmäfsig statt, auf diesen Zustand hat DONDERS den Namen **Presbyopie** beschrä Dabei ist aber noch zu bemerken, dafs im höheren Alter, etwa vom Jahre ab, auch der Fernpunkt des Auges etwas hinausrückt, früher em tropische Augen also hypermetropisch, schwach myopische emmetropi werden.

Die allmälige Verminderung der Accommodationsbreite hängt w scheinlich davon ab, dafs die Festigkeit der äufseren Schichten der Kry linse wächst und die Linse deshalb weniger nachgiebig wird. Vermehr des Brechungscoefficienten ihrer äufseren Schichten mufs nach Seite auch eine Verminderung der Brechung in der Linse zur Folge haben also den hintern Brennpunkt des Auges nach hinten rücken lassen.

828 Zu erwähnen ist noch, dafs wir der Regel nach immer Converg und Accommodationsanstrengung gleichzeitig vollführen und daher a unwillkührlich eine bestimmte Verbindung zwischen beiden Anstrengun einhalten. Jemand, der seine Accommodation nicht willkührlich beherrs gelernt hat, accommodirt deshalb besser für die Ferne bei paral

htslinien und erreicht die stärkste Anstrengung der Accommodation r bei stark convergenten Gesichtslinien.

[DONDERS unterscheidet daher 1. die absolute Accommodations-:e, wo der Fernpunkt genommen wird bei parallelen (oder selbst genten Blicklinien, der Nähepunkt bei möglichst stark convergenten. Nähepunkt der Accommodation liegt hierbei ferner als der Convergenz-. Es ist dies die gröfste erreichbare Accommodationsbreite, sie betrug inem emmetropischen Beobachter im Alter von 15 Jahren $\frac{1}{3{,}69}$ (nach er Zollen) oder 10 Dioptrien.

2. Die binoculare Accommodationsbreite. Die Convergenz wird ei nicht stärker gemacht, als zur Fixirung des Punktes, für den man mmodirt, nöthig ist. Man erreicht hierbei nicht ganz denselben Grad Accommodation, wie im ersten Falle. Die Breite der binocularen mmodation desselben Beobachters war $\frac{1}{3{,}9}$ (9,5 Dioptrien).

3. Die relative Accommodationsbreite für einen gegebenen Grad Convergenz. Diese war für denselben Beobachter bei parallelen Gelinien nur gleich $\frac{1}{11}$ (3,7 D.), erreichte bei einer Convergenz von 11° ihr mum von $\frac{1}{5{,}76}$ (6,4 D.), blieb dann bei steigender Convergenz ziemlich unverr, so dafs sie bei 23° noch $\frac{1}{6{,}4}$ (5,8 D.) betrug, und bei der Stellung des ären Nahepunkts, bei 38° Convergenz, $\frac{1}{9}$ (4,1 D.). In der Stellung des ab-n Nahepunkts, bei 73° Convergenz, war sie Null.

Für ärztliche Zwecke müssen also bestimmte Grade der Convergenz ählt werden, um vergleichbare Grade der Accommodation zu erhalten, man mufs mit passend gewählten Linsen, die man vor das Auge setzt, Patienten die Accommodation bei einem solchen Convergenzgrade möglich machen suchen.

Für die Bestimmung des Fernpunkts empfiehlt sich die parallele tung der Gesichtslinien auf ein entferntes Object; die Brennweite der schsten concaven Linsen, welche einem myopischen, oder der stärksten ven Linsen, welche einem hypermetropischen Auge noch vollkommen Sehen sehr entfernter kleiner Objecte gestatten, ist unmittelbar die Entfernung des Fernpunktes vom Auge. Für die Bestimmung Nahepunktes schreibt DONDERS vor, ihn durch passende Convexgläser bis auf etwa 8 Zoll heranzubringen, wenn er weiter abliegen sollte, einer genügenden Accommodationsanstrengung sicher zu sein. Dabei mufs natürlich der Einflufs der Linse auf die Lage des gesehenen Bildes in nung gebracht werden.

[illegible] Sehweite ungeübter Beobachter
[illegible] verschiedener Gröfse[1] und eine
[illegible] Brillengläser.

[illegible] deren Sehweite für die ge
[illegible] Unterstützung durch pa
[illegible] rauchen eine Convexbrill
[illegible] Beschäftigung mit nahen Ob
[illegible] bei schwacher Beleuchtung.
[illegible] Zerstreuungskreise gröfser, ist
[illegible] stärkerer Beleuchtung. In der
[illegible] Nahepunkt auf 10 bis 12 Zoll heran
[illegible] 50 Jahren, wo die Ge
[illegible] wünschenswerth, die Objec
[illegible] nehmen, um sie unter gröfserer
[illegible]

[illegible] darauf zu sehen, dafs be
[illegible] gebückte Haltung des Kopfe
[illegible] weil die Verdünnung
[illegible] Theile des Auges
[illegible] und die höheren
[illegible] und gefäl
[illegible] der Fernpunkt
[illegible] Concave Brilleng
[illegible] anzuwenden und fortda
[illegible] emmetropi
[illegible] zu achten.
[illegible] Handarbeiten
[illegible] gute
[illegible] mi
[illegible] zu fei
[illegible] der Geb
[illegible] Gt
[illegible] ratnsam.
[illegible] und gerin
[illegible]

[illegible] zuw
[illegible] erst
[illegible] nach und
[illegible] zwi

[illegible] SNELLE
[illegible] Bai
[illegible] ausg
[illegible]
[illegible] Nachet
[illegible] A. Freyse

commodation und Convergenz den neuen Umständen allmälig angepafst rden mufs. Bei geringerer Accommodationsbreite oder merklich verminrter Gesichtsschärfe ist es überhaupt rathsamer, für nahe Objecte schwächere äsen zu tragen, die für die gewöhnlichen Beschäftigungen genügen, und r ferne Objecte eine Lorgnette zu Hilfe zu nehmen.

Bei höheren Graden von Myopie ist das Auge überhaupt schon leidend 830
d gefährdet; es sind dann mancherlei andere Rücksichten noch zu nehmen, e hier nicht weiter erörtert werden können, und der Rath eines intelligenten zte- jedenfalls nothwendig. Überhaupt ist die Gleichgültigkeit, womit die isten Kurzsichtigen den Zustand ihrer Augen betrachten, die Ursache späterer twickelung gefährlicher Augenkrankheiten und vieler Erblindungen, und kann nicht genug vor Nachlässigkeit in dieser Hinsicht gewarnt werden.

Hypermetropische Augen brauchen convexe Linsen, und zwar wähle n im Anfang, wo sie ihre fortdauernde Accommodationsanstrengung noch cht ganz zu beseitigen wissen, etwas zu starke Gläser, durch die sie schon ne Objecte nicht mehr ganz deutlich sehen können. Je mehr sie sich r übermäfsigen Accommodation entwöhnen, desto schwächere Gläser werden reichen. Bei verminderter Accommodationsbreite brauchen sie stärkere Conxgläser für die Nähe, schwächere für die Ferne. Die sehr bedeutenden schwerden der fortdauernden Accommodationsanstrengung werden durch ende Gläser ganz beseitigt, und es ist einer der bedeutendsten praktischen umphe der neueren Ophthalmologie, dafs die äufserst hartnäckige Asthenopie, e auf Hypermetropie beruht und die die Verzweiflung der Patienten und rzte war, nachdem ihr Grund erkannt worden ist, durch ein so einfaches ttel so leicht beseitigt werden kann.

Wenn man das Auge in Wasser taucht, fällt die Brechung der Licht- 98
rahlen an der Hornhaut fast ganz fort, und es bleibt nur die in der ystallinse wirksam, welche nicht hinreicht, um deutliche Bilder auf der tzhaut zu entwerfen. Das Auge verhält sich dann wie ein überweitsichtiges und braucht eine stark convexe Linse als Brille, um irgend etwas zu kennen.

Um die Gröfse der Zerstreuungskreise berechnen zu können, bemerke n zunächst, dafs alle Strahlen, die aufserhalb des Auges auf die scheinbare (durch die Hornhaut gesehene) Pupille hinzielen, nach der Brechung in der rnhaut die wirkliche Pupille treffen, und dafs sie im Glaskörper so verlaufen, als kämen sie von dem Bilde der Pupille her, welches die Linse nach hinten zu entwirft. Es ergiebt sich dies sogleich aus dem Begriffe des optischen Bildes. n jeder Punkt der wirklichen Pupille und der correspondirende Punkt ihres Bildes sind in Rücksicht auf die Brechung an der Hornhaut correspondirende Vereinigungspunkte der Lichtstrahlen. Strahlen, die von dem Punkte der wirklichen Pupille nach vorn gehen, scheinen vor dem Auge von dem Bilde dieses Punktes herzukommen, und umgekehrt. Strahlen, welche in der Luft nach einem Punkte der scheinbaren Pupille convergiren, müssen sich nach der Brechung an der Hornhaut den entsprechenden Punkte der wirklichen Pupille vereinigen.

LISTING nimmt für sein schematisches Auge an, dafs die Iris ½ mm vor der vorderen Linsenfläche liege, und berechnet, dafs alsdann ihr von der Linsen entworfenes Bild um $^1/_{15}$ vergröfsert und um 0,055 mm nach hinten gerückt sei. Verlegt man dagegen die Pupille dicht an die Vorderfläche der Linse, was natur-gemäfser ist, so beträgt die Vergröfserung nur etwa $^1/_{18}$ (genauer $^3/_{53}$), und sie wird um 0,113 mm nach hinten gerückt. Behält man die übrigen Data von LISTING's schematischem Auge bei, so würde der Abstand des Linsenbildes der Pupille von der Netzhaut gleich 18,534 mm zu setzen sein. Durch die Hornhaut würde dieselbe Pupille dagegen um $^1/_7$ (genauer $^{13}/_{90}$) vergröfsert und um 0,578 mm vorgerückt erscheinen.

Die Gröfse der Zerstreuungskreise auf dem mittleren Theile der Netzhaut läfst sich auf folgende Weise berechnen. Es sei in *Fig. 64* $gf$ die Augenaxe, $qg$ ein vor

Fig. 64.

dem Auge liegendes Object, und die Linie $qg$ senkrecht gegen $fg$. Es sei ferner $p$ das Bild von $q$, und $f$ von $g$; $\alpha d$ die Netzhaut, welche wir als eine auf der Augenaxe senkrechte Ebene betrachten, da nur Bilder auf der Mitte der Netzhaut in Betracht gezogen werden sollen; $ab$ sei das Linsenbild der Pupille, $AB$ ihr Hornhautbild, beide senkrecht gegen die Augenaxe, die von ihren Ebenen in den Punkten $c$ und $C$ geschnitten wird. Die von dem Rande der Pupille ausgehenden Strahlen $ap$ und $bp$ schneiden die Netzhaut in $\alpha$ und $\beta$, so dafs $\alpha\beta$ ein Durchmesser des Zerstreuungskreises ist, dessen Gröfse berechnet werden soll. Da $ab$ parallel $\alpha d$ ist, ist nach bekannten geometrischen Sätzen:

$$ap : \alpha p = ab : \alpha\beta$$

99 $$ap : \alpha p = cf : df, \text{ also auch}$$

$$\alpha\beta = \frac{ab \, . \, df}{cf} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1$$

Fällt die Ebene der Netzhaut mit der hinteren Brennebene des Auges zusammen und ist $D$ der vordere Brennpunkt des Auges, so können wir wie in § 9 Gleichung bezeichnen $CD$ mit $H_1$, $cd$ mit $H_2$, $Cg$ mit $h_1$, $cf$ mit $h_2$ (statt $h_{m+1}$) haben dann wie dort

$$\frac{H_1}{h_1} + \frac{H_2}{h_2} = 1 \text{ oder}$$

$$\frac{H_1}{h_2} = \frac{h_2 - H_2}{h_2} = \frac{df}{cf}, \text{ also}$$

$$\alpha\beta = ab \, . \, \frac{H_1}{h_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1$$

Wenn $c$ der Mittelpunkt des Linsenbildes der Pupille ist, also $ac = bc$,

ahl *cp* die Netzhaut in $\gamma$ schneidet, so ist $\gamma$ der Mittelpunkt des Zer-
streukreises. Denn wegen des Parallelismus von $a\,b$ und $\alpha\,\beta$ verhält sich

$$ac : bc = \alpha\gamma : \beta\gamma$$
$$ac = bc, \text{ folglich}$$
$$\alpha\gamma = \beta\gamma.$$

ahl also, welcher die Mitte des Zerstreuungskreises trifft, geht im Glaskörper rt durch den Mittelpunkt des Linsenbildes der Pupille. Wir können hin-. er geht in der vorderen Kammer in der That durch den Mittelpunkt der en Pupille und in der Luft verlängert durch den Mittelpunkt des Hornhaut-er Pupille.

raus folgt, dafs, wenn die Mittelpunkte der Zerstreuungskreise für zwei un-rem Auge entfernte Punkte auf einander fallen, der nach diesem gemein-Mittelpunkte von dem Mittelpunkte des Linsenbildes der Pupille gehende eiden Strahlensystemen gemeinsam sein mufs. Die Fortsetzung dieses ge-en Strahls vor dem Auge mufs also auch beide leuchtende Punkte treffen, d verlängert durch den Mittelpunkt des Hornhautbildes der Pupille gehen. e wird der Fall sein, wenn das eine Zerstreuungsbild sich auf einen Punkt . der im Mittelpunkte des anderen Zerstreuungskreises liegt.

im Visiren decken sich zwei ungleich entfernte Punkte, wenn das Bild des i die Mitte des Zerstreuungsbildes des anderen fällt, oder die Mittelpunkte Zerstreuungsbilder auf einander fallen, falls beide undeutlich gesehen werden. verbindende gerade Linie nenne ich Visirlinie. Sie mufs nach der eben en Auseinandersetzung mit dem Strahle zusammenfallen, der nach dem Mittel-des Hornhautbildes der Pupille geht, und dieser letztere Punkt wird des-r Kreuzungspunkt aller Visirlinien sein.

r Begriff des Gesichtswinkels hängt hiermit nahe zusammen. Wenn n dafs Objecte, die unter gleichem Gesichtswinkel erscheinen, gleiche se Gröfse haben, so mufs man den Scheitel des Gesichtswinkels in den gspunkt der Visirlinien legen. Gewöhnlich hat man ihn aber in den gspunkt der Richtungslinien (den ersten Knotenpunkt) verlegt, und wenn es i Fälle handelt, wo die beiden gesehenen Punkte nach einander direct werden, würde man ihn in den Drehpunkt des Augapfels legen müssen. r weit entfernte Punkte wird die Gröfse des Gesichtswinkels dadurch nicht *100*
t, für nahe aber allerdings.

füge hier noch eine kleine Tafel bei, welche LISTING für sein schemati-ge unter der Annahme berechnet hat, dafs die Netzhaut in der zweiten e des Auges liege, und die Pupille 4 mm Durchmesser habe. Es sind gegeben unter $l_1$ die Entfernungen des leuchtenden Punktes von dem Brennpunkte nach vorn, unter $l_2$ die des Bildes von der Netzhaut nach ater $z$ der Durchmesser des Zerstreuungskreises. Die Rechnung ist aus-ch § 9 Gleichung 8 c)

$$l_1 . l_2 = F_1 . F_2$$

11 Gleichung 1 a). Das Product $F_1 . F_2$ ist für LISTING's schematisches eh 301.26 Quadratmillimeter. (Als runde Zahl genügt 300.)

| $l_1$ | $l_2$ | $z$ |
|---|---|---|
| ∞ | 0 mm | 0 mm |
| 65 Meter. | 0,005 | 0,0011 |
| 25 | 0,012 | 0,0027 |
| 12 | 0,025 | 0,0056 |
| 6 | 0,050 | 0,0112 |
| 3 | 0,100 | 0,0222 |
| 1,5 | 0,200 | 0,0443 |
| 0,75 | 0,40 | 0,0825 |
| 0,375 | 0,80 | 0,1616 |
| 0,188 | 1,60 | 0,3122 |
| 0,094 | 3,20 | 0,5768 |
| 0,088 | 3,42 | 0,6484 |

Man sieht aus dieser Tabelle auch, wie wenig sich die Lage des Bildche wenn die sich ändernde Entfernung des Objects noch sehr grofs ist, und w das Bildchen sich von der Netzhaut entfernt, wenn das Object in gering fernung vom Auge sich mehr und mehr nähert.

Um zu ermitteln, für welche Entfernungen sich ein Auge accommodiren verschiedene Instrumente, **Optometer**, vorgeschlagen worden.

Die zuerst sich darbietende Methode, nach welcher wir im täglichen Le sichtigkeit und Weitsichtigkeit zu unterscheiden pflegen, ist die, zu beob welcher Entfernung kleinere Gegenstände, z. B. Buchstaben, am besten geseh Indessen ist dabei keine grosse Genauigkeit der Angaben möglich. Einma druckte Buchstaben nie so klein, um nicht auch bei ziemlich beträchtlichen Abv der Accommodation noch gelesen werden zu können. So kann ich eine D wie die vorliegende, in 13 Zoll Entfernung noch lesen, während mein Auge Fernpunkt, 3 Fuss Entfernung accommodirt ist. Und ebenso kann ich sie i Entfernung lesen, obgleich ich das Auge nur auf 3,6 Zoll accommodiren kann. ist zu bemerken, dass die Gegenstände, wenn man sie dem Auge nähert, u grösseren Gesichtswinkel erscheinen, und deshalb unter übrigens gleichen deutlicher erkannt werden als in gröfserer Entfernung. Sehr kleine, schwer nende Gegenstände werden deshalb dem Auge zuweilen näher gebracht, name Hypermetropen, als die Accommodationsdistanz ist, weil man bei mäfsiger Un des Bildes und gröfserem Sehwinkel zuweilen mehr erkennt, als bei genauer dation und geringerem Sehwinkel. Will man also die Accommodationsweiten
101 Art ermitteln, so mufs man für verschiedene Abstände verschiedene Gesi wählen, und alle so fein, dafs sie in der betreffenden Entfernung von einem modirten Auge nur eben noch erkannt werden können.

Porterfield[1] hat zuerst den Scheinerschen Versuch zur Untersuchun weiten empfohlen, und darauf ein Optometer gegründet, welches Th. Young[2] v Letzterer empfiehlt einen feinen weifsen Faden auf dunklem Grunde auszus dafs sein eines Ende nahe unter dem Auge sich befindet, und dann durch ei mit zwei Löchern nach dem Faden zu sehen. Er erscheint dann nur an der welche das Auge accommodirt ist, einfach, an allen übrigen Stellen doppelt. I erscheinende Stelle kann leicht bezeichnet werden. Ihre Entfernung vom Auge der beim Versuche stattfindenden Sehweite des Auges. Übrigens kann man a feine Objecte benutzen, welche man in verschiedene Entfernung vom Auge br mufs die Objecte für diese Versuche so fein wählen, dafs sie durch die I Schirms eben noch deutlich gesehen werden können, z. B. feine Nadeln

[1] W. Porterfield, *On the eye*. Vol. I. p. 423. — *Edinb. medical Essays*. IV. 185.
[2] Th. Young, *Phil. Transactions*. 1801. P. I. p. 34.

Kepler[1], welcher zuerst richtige Begriffe von der Brechung des Lichts im Aug hatte, sah auch die Nothwendigkeit einer Accommodation des Auges für verschiedene Entfernungen ein, und erklärte die bei unpassender Accommodation auftretenden Zerstreuungskreise. Scheiner[2] beschrieb die Erscheinungen, welche bei unpassender Accommodation eintreten, wenn man durch einen Schirm mit zwei Öffnungen sieht Erklärungen dieses Versuchs gaben de la Hire[3], der aber dabei die Möglichkeit der Accommodation für verschiedene Entfernungen läugnete, später J. de la Motte[4] und Porterfield[5], welcher Letztere zugleich die irrigen, von de la Hire aus dem Versuche gezogenen Schlüsse berichtigte. Die scheinbaren Bewegungen eines außer der Sehweite liegenden Gegenstandes, wenn man ihn durch eine enge Öffnung erblickt und diese selbst bewegt, erwähnt Mile[6] zuerst und beschrieb später H. Mayer[7] ausführlicher, mit Beziehung auf die Theorie der Accommodation.

Eine ausführliche Darstellung des Entstehens der Zerstreuungskreise, ihres Über-einandergreifens u. s. w. gab Jurin[8].

Was den Gebrauch der Brillengläser betrifft, so kommt bei Plinius[9] eine Stelle vor, welche darauf hinzudeuten scheint. Er berichtet, daſs concave Smaragde vorkämen, welche das Gesicht sammelten (*visum colligere*), und deshalb nicht geschnitten werden dürften. Der Kaiser Nero, welcher kurzsichtig war (Plinius I. II. c. 34), sah durch einen solchen Smaragd den Kämpfen der Gladiatoren zu. Später findet man wieder Nachrichten aus dem Anfange des 14. Jahrhunderts, wo die Brillen als eine neue Erfindung betrachtet wurden. Ein Florentiner Edelmann, Salvinus Armatus, gestorben 1317 wird in seiner Grabschrift als Erfinder der Brillen genannt[10]. Alexander de Spina, ein Mönch aus **Pisa**, gestorben 1313, soll ein Paar Brillen bei Jemandem gesehen haben, der ein Geheimniſs daraus machte, solche nachgemacht und an viele Leute vertheilt haben[11] Maurolycus (1494 bis 1575) versuchte später eine Erklärung der Wirkung zu geben, die aber entsprechend seiner Theorie vom Sehen unrichtig war. Er läſst nämlich die Seh-strahlen, d. h. Strahlen, von denen je einer von je einem Punkte des Objects ausgeht durch die Gläser convergenter oder divergenter werden, so wie es in der That nur mi den von einem einzigen Punkte ausgegangenen Lichtstrahlen der Fall ist. Erst Kepler[12] gab die vollständige und richtige Theorie von dem Nutzen der Brillen.

## § 12. Mechanismus der Accommodation.

103 Die Veränderungen, welche man bei Accommodationsänderungen am Auge eines Anderen beobachten kann, sind folgende:

1) Die Pupille verengert sich bei der Accommodation für die Nähe, erweitert sich bei der für die Ferne. Diese Veränderung ist leicht zu beobachten, und am längsten bekannt. Man bemerkt sie an jeder

---

[1] J. Kepler, *Paralipomena.* p. 200.
[2] C. Scheiner, *Oculus.* p. 37 u. 41. *Ähnliche Versuche.* p. 32 u. 49.
[3] Ph. de la Hire, *Journal des Sçavans.* 1685 und in *Accidens de la vue.* 1693.
[4] J. de la Motte, *Versuche und Abhandlungen der Gesellschaft in Danzig.* Bd. II. p. 290.
[5] W. Porterfield, *On the eye.* Vol. I. Book 3. Chapt. 3.
[6] J. Mile, *Poggendorff's Ann.* XLII. 40.
[7] H. Mayer, *Prager Vierteljahrsschrift.* 1851. Bd. IV. S. 92.
[8] J. Jurin, *Essay on distinct and indistinct vision.* R. Smith, *A complet system of optics.* Cambridge 17
[9] Plinius, L. XXXVII. c. 5.
[10] Volkmanns *Nachrichten von Italien.* Bd. I. S. 542. Die Grabschrift in der Kirche Maria maggiore zu Florenz wurde später weggenommen und hieſs:

*Qui giace Salvino degli Armati*
*Inventore degli Occhiali.*
*Dio gli perdoni le peccati.*

[11] R. Smith, *A complete system of optics.* *Remarks* p. 12. Cambridge 1738.
[12] J. Kepler, *Paralipomena.* p. 200.

3) Die vordere Fläche der Krystallinse wird gewölbter b Nahesehen, flacher beim Sehen in die Ferne. Man kann sich da durch das an der vorderen Fläche der Linse zurückgeworfene Licht ül zeugen. Man gebe, wie beim vorigen Versuche, dem beobachteten A wieder zwei scharf bestimmte, in einer Linie vor ihm liegende Gesic punkte. Das Zimmer mufs vollständig verdunkelt sein, und aufser ei grofsen und hellen Lampenflamme, welche man seitwärts von der Gesic linie in gleicher Höhe mit dem Auge aufstellt, darf sich kein gröfs heller Gegenstand vor dem beobachteten Auge befinden, um alle stören Hornhautreflexe vermeiden. In *F* *67* sei *A* das obachtete Auge, die Flamme i Grundrisse, *n* nähere, *f* der fern Gesichtspunkt. Beobachter mu

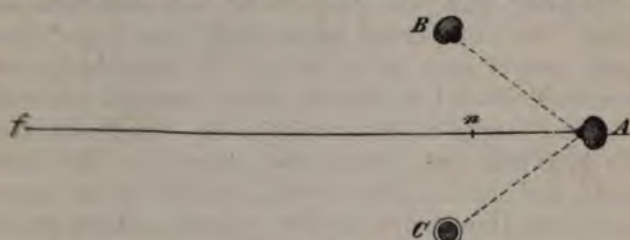


*Fig. 67.*

105 nun sein Auge in gleicher Höhe mit dem beobachteten Auge und Lampe anbringen, so dafs der Winkel *B A f* ungefähr gleich *C* ist, und so lange sein Auge in der Nähe von *B* hin und her wegen, bis er die Reflexe von beiden Linsenflächen sieht. Diese bei Reflexe *Fig. 68* *b* und *c* sind sehr viel lichtschwächer als der Re der Hornhaut *a*. Der von der vorderen Linsenfläche *b* bildet ein aufre stehendes Bildchen der Flamme, etwas gröfser als das von der Hornh entworfene, aber meist so verwaschen, dafs man die Gestalt der Flan nicht genau erkennen kann. Sein scheinbarer Ort ist weit (8 bis 12 r hinter der Pupille. Es verschwindet daher auch schon bei leichten Bewegun des beobachtenden Auges oder des Lichts hinter dem Irisrande. Wir wol es das erste Linsenbild nennen, das von der hinte Fläche entworfene dagegen das zweite. Dieses letzt *Fig. 68* *c* ist umgekehrt und viel kleiner als das Hornh bild und das erste Linsenbild, erscheint daher als ein hel ziemlich gut begrenztes Pünktchen. Sein scheinbarer ist nahe hinter der Fläche der Pupille, etwa 1 mm von entfernt; es verschiebt sich daher verhältnifsmäfsig we gegen die Pupille und das Hornhautbild, wenn der Be achter die Stellung seines Kopfes ändert.



*Fig. 68.*

Wenn das beobachtete Auge sich für die Nähe accommodirt, wird erste Linsenbild beträchtlich kleiner, und nähert sich in der Regel auch Mitte der Pupille. Die Verkleinerung bemerkt man am besten, wenn n statt einer Flamme einen Schirm mit zwei senkrecht über einander steh den Öffnungen angewendet hat, durch deren jede eine Flamme ihr Li ft, oder wenn man etwas unterhalb der einen Flamme einen horizonta

Da somit den Beobachtungen gemäfs die vordere Fläche der Linse vorrückt, die hintere ihren Ort nicht verläfst, wird die Linse beim Nahesehen in der Mitte dicker. Da sie andererseits ihr Volumen nicht verändern kann, müssen wir daraus schliefsen, dafs sich die Durchmesser ihrer Äquatorialebene verkürzen.

In dem Querschnitte des vorderen Theiles des menschlichen Auges *Fig. 70* habe ich Hornhaut und Linse nach den Mafsen eines der von mir untersuchten lebenden Augen in fünfmaliger Vergröfserung construirt, und zwar auf der mit *F* bezeichneten Seite in der Accommodation für die Ferne, auf der mit *N* bezeichneten in der für die Nähe. Die Ciliarfortsätze sind in dieser Figur so gezeichnet, als wenn man sie durch die zwischen sie eingeschobene Falte der Zonula hindurch sähe, so dafs man den Verlauf der Zonula erkennt. Mit *a a* ist der vordere Rand ihrer Falten, mit *b b* der hintere bezeichnet.




*Fig. 70.*

Durch die stärkere Wölbung der Oberflächen der Linse wird ihre Brennweite verkürzt, während ihre Hauptpunkte sich gleichzeitig nach vorn verschieben, theils weil die vordere Fläche der Linse vorrückt, theils weil die vordere Fläche im Verhältnifs zur hinteren sich stärker wölbt. Beide Umstände tragen dazu bei, die von der Hornhaut convergent auf die Linse fallenden Strahlen äufserer leuchtender Punkte eher zur Vereinigung zu bringen, als dies in dem fernsehenden Auge geschieht. Die Gröfse der an der Linse beobachteten Veränderungen scheint auch auszureichen, um die Breite der Accommodation des lebenden Auges zu erklären.

109 5) Der peripherische Rand der Iris weicht beim Nahesehen zurück. Cramer hat zuerst bemerkt, dafs man bei Kindern mit blofsem Auge beobachten könne, wie sich die vordere Kammer beim Nahesehen erweitert. Ich selbst habe gefunden, dafs man dies auch bei Erwachsenen mittels einer besonderen Art der Beleuchtung des Auges erkennen könne. Wenn man nämlich Licht ganz von der Seite her auf das Auge fallen läfst, so dafs die Iris gröfstentheils beschattet ist, so bildet sich bei einer richtigen Stellung des Auges auf der dem Lichte gegenüberliegenden Seite de

in der Richtung des Pfeils auf das Auge: auf der Iris sieht man an der dem Lichte zugekehrten Seite $b$ den Hornhautreflex des Lichts, auf der anderen nach $a$ hin die kaustische Linie, deren Licht zum Theil noch durch den vorspringenden Rand der Sclerotica hindurchscheint.

Aus diesen Thatsachen habe ich folgende Ansicht über den Mechanismus der Accommodation hergeleitet. Die Krystallinse ist ein elastischer Körper, der bei Entspannung der inneren Augenmuskeln durch den Zug der an ihrem Rande sich anheftenden Zonula in radialer Richtung gedehnt und daher in Richtung ihrer Symmetrieaxe etwas zusammengezogen ist. Die Elasticität der Linse wird hauptsächlich ihrer Kapselmembran zu verdanken sein, denn wenn die Kapsel abgestreift ist, zeigen die oberflächlichen Schichten der Linse mehr eine schleimige als eine gallertige Consistenz. Sie haben keine Spur von dem Bestreben ihre Form gegen äufsere Kraft zu behaupten, oder nach Änderung der Form in die frühere Form zurückzukehren. Dafs aber die von der Kapsel umschlossene Linse elastisch ist, und dafs der Zug der Zonula genügt, sichtbare Formveränderungen hervorzubringen, läfst sich an todten, nicht zu alten menschlichen und thierischen Augen zeigen, wenn man von vorn her Linse und Zonula freilegt, und dann vorsichtig mit zwei feinen Pincetten die Zonula an entgegengesetzten Seiten der Linse fassend einen Zug ausübt. Man sieht dabei die Linse sich in Richtung des Zuges verlängern und wieder in ihre Kreisform zurückkehren, sobald der Zug nachläfst.

Im unverletzten Zustande ist die Zonula an ihrem äufseren Rande ziemlich fest mit den niedrig auslaufenden Firsten der Ciliarfortsätze und dadurch mit der Aderhaut verbunden, so dafs Linse, Zonula und Aderhaut eine vollständig geschlossene vom Glaskörper prall ausgefüllte Kapsel bilden. Der Druck der Flüssigkeit wird die Spannung der genannten Theile unterhalten müssen.

Die in Richtung der Meridiane des Auges verlaufenden Radialfasern des Ciliarmuskels, welche am hintern Ende der Ciliarfortsätze im Gewebe der Aderhaut endigen, werden bei ihrer Zusammenziehung das dort mit der Aderhaut und Glashaut fest verbundene hintere Ende der Zonula nach vorn ziehen, und dadurch die Spannung der Zonula und ihren Zug gegen die Peripherie der Linse aufheben müssen, so dafs in Folge davon die Linse in Richtung ihrer Durchmesser sich zusammenziehen, in Richtung ihrer Axe sich verdicken wird. Dadurch wird auch nothwendig die Wölbung ihrer beiden Flächen vergröfsert werden.

Die vordersten mehr nach der Augenaxe hin gerichteten Fasern des Ciliarmuskels biegen zum Theil in Richtungen um, die dem Rande der Linse parallel verlaufen, und setzen so eine Art Ringfaserschicht zusammen, die von MAX LANGENBECK[1] entdeckt und *Compressor lentis* oder *Sphincter lentis* genannt worden ist. Sie liegen der Linse aber nirgend an. Die Function

[1] MAX LANGENBECK, *Klinische Beiträge zur Chirurgie und Ophthalmologie.* 1849.

ein schnelles Eindringen von Wasser in den Raum hinter der Iris nicht z denken; das Vortreten der peripherischen Iris zeigt ohne Zweifel auch ei entsprechendes Vortreten des hinter ihr liegenden Ciliarkörpers an.

Gespannte elastische Membranen, die ein unveränderliches Volum einer incompressibeln Flüssigkeit umschliefsen, und mit einem kreisförmig Rande angeheftet sind, wie die Zonula an der Aderhaut, streben, je meh ihre Spannung wächst, desto mehr sich der Form eines Kugelsegments z nähern. Im ungespannten Zustande, beim Nahesehen, wölbt sich die vorder Linsenfläche vor der flachen Krümmung der vorderen Zonulafirsten hervo Im gespannten Zustande, beim Fernsehen, viel weniger. Indessen ist de Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche von etwa 10 mm doch imme noch kleiner, als der der Zonulawölbung, der etwa auf 14 mm zu schätzen is

Für die Theorie des Mechanismus der Accommodation sind noch einig der an operirten Menschen gemachten Erfahrungen wichtig. A. von Graefe beobachtete an einem Auge, wo er die ganze Iris durch Operation entfern hatte, dafs die normale Breite der Accommodation vorhanden war, und auc die Krümmungsänderung der vorderen Linsenfläche deutlich beobachte werden konnte. Daraus geht hervor, dafs die Iris bei der Accommodatio keine wesentliche Rolle spielt, wie es A. Cramer[2] vermuthet hatte.

Donders[3] stellte in zwei für die Untersuchung sehr günstigen Fälle wo die Linse durch Staaroperation entfernt war, aber mit Hülfe einer co vexen Brille noch gut gesehen werden konnte, fest, dafs keine Spur vo Accommodation vorhanden war, trotzdem bei dem Bestreben nahe Objec zu sehen Convergenz beider Augenaxen und Verengerung der Pupille ei trat. Das zeigt also namentlich, dafs keine Veränderung in der Länge de Axe des Augapfels der Accommodation zu Hülfe kommt, wie dies früh vielfach vermuthet worden war.[4]

Dasselbe wird bestätigt durch die Wirkung des Atropins auf das Aug wobei der *Sphincter pupillae* und der Ciliarmuskel zeitweilig vollständi gelähmt werden, die Pupille sich stark erweitert und die Accommodatio ganz aufhört. Die äufseren Augenmuskeln, durch deren Druck auf de Äquator des Bulbus dieser nach hinten verlängert werden könnte, sind in dessen ganz wirkungskräftig. Es ergiebt sich also daraus, dafs sie nich wesentlich zur Accommodation beitragen.

831 Zu erwähnen ist in dieser Hinsicht noch ein Versuch von Bahr[5] am unverletzten Auge.

Bahr betrachtete im Zustande der Accommodation ein nahes scha beleuchtetes Rechteck, bis ein kräftiges Nachbild in seinem Auge entwickel war, und warf dieses dann mit nachlassender Accommodation auf eine fern Fläche, auf der er die scheinbare Gröfse des Nachbildes bestimmte. D

[1] A. v. Graefe, *Graefe's Archiv für Ophthalmol.* Bd. VII. (2) 150.

[2] A. Cramer, *het Accommodatievermogen der Oogen*, Haarlem, 1853. Übersetzt von Doden, Leer. 18

[3] F. C. Donders, *On the anomalies of accommodation and refraction.* London. 1864. p. 320—321.

[4] Eine entgegengesetzte Beobachtung will Förster gemacht haben. S. *Klinische Monatsblätter f Augenheilkunde.* X. Jahrg. Febr., März. 1872.

[5] C. R. Bahr, *De oculi accommodatione experimenta nova.* Berlin 1857. (Dissert.)

wenn auch vermindert, ebenso wenn auch noch die Iris weggenommen w Nach Entfernung auch der Linse wölbt sich der Glaskörper convexer Läfst man jetzt den Accommodationsapparat spielen, so sieht man, wie tellerförmige Grube sich stark vorwölbt, und beim Aufhören der Rei schnell zurückgeht.

Ich gebe hier aufser der ersten von mir durchgeführten Berechn eines schematischen Auges in zwei verschiedenen Accom dationszuständen[1] noch eine neuere Berechnung, welche gewonnen unter Anwendung von Mittelwerthen, wie sie durch die ophthalmometris Messungen bisher gefunden sind. Als Krümmungsradius der Hornhau das Mittel von Donders Beobachtungen an normalsichtigen Männern Frauen genommen.[2] Als Ort verschiedener Punkte und Flächen ist i ihre Entfernung vom Hornhautscheitel angegeben, und zwar nach h positiv gerechnet, nach vorn negativ. Die Längen sind in Millimeter gegeben.

| | Alte Berechnung Accommodation für | | Neue Berechn Accommodation | |
|---|---|---|---|---|
| | Ferne | Nähe | Ferne | N |
| **Angenommen.** | | | | |
| Brechungsvermögen des Kammerwassers und Glaskörpers | $\frac{103}{77}$ | $\frac{103}{77}$ | 1.3365 | 1 |
| Totales Brechungsvermögen der Krystallinse | $\frac{16}{11}$ | $\frac{16}{11}$ | 1.4371 | 1 |
| Krümmungsradius der Hornhaut | 8.0 | 8.0 | 7.829 | 7 |
| Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche | 10.0 | 6.0 | 10.0 | ( |
| Krümmungsradius der hinteren Linsenfläche | 6.0 | 5.5 | 6.0 | 5 |
| Ort der vorderen Linsenfläche | 3.6 | 3.2 | 3.6 | 3 |
| Ort der hinteren Linsenfläche | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7 |
| **Berechnet.** | | | | |
| Vordere Brennweite der Hornhaut | 23.692 | 23.692 | 23.266 | 23 |
| Hintere desgl. | 31.692 | 31.692 | 31.095 | 31 |
| Brennweite der Linse | 43.707 | 33.785 | 50.617 | 39 |
| Abstand des vorderen Hauptpunktes der Linse von ihrer Vorderfläche | 2.1073 | 1.9745 | 2.126 | 1 |
| Abstand des hinteren von der hinteren Fläche | — 1.2644 | — 1.8100 | — 1.276 | —1 |
| Abstand der beiden Hauptpunkte der Linse von einander | 0.2283 | 0.2155 | 0.198 | 0 |
| Hintere Brennweite des Auges | 19.875 | 17.756 | 20.713 | 18 |
| Vordere desgl. | 14.858 | 13.274 | 15.498 | 13 |
| Ort des ersten Hauptpunkts | 1.9403 | 2.0330 | 1.753 | 1 |
| Ort des zweiten Hauptpunkts | 2.3563 | 2.4919 | 2.106 | 2 |
| Ort des ersten Knotenpunkts | 6.957 | 6.515 | 6.968 | 6 |
| Ort des zweiten Knotenpunkts | 7.373 | 6.974 | 7.321 | 6 |
| Ort des vorderen Brennpunkts | —12.918 | —11.241 | —13.745 | —12 |
| Ort des hinteren Brennpunkts | 22.231 | 20.248 | 22.819 | 20 |

[1] Erste Auflage dieses Buches, S. 111.

[2] Die Berechnung für das fernsichtige Auge ist wohl nach einem Collegienhefte schon in G und Sämisch, *Handbuch der Ophthalmologie*, VI., S. 280 unter Helmholtz II von Herrn Nagel theilt. Ein kleiner Rechnungsfehler ist hier verbessert.

mmt man an, dafs bei der Accommodation für die Ferne dieses sche- 112
e Auge in unendliche Ferne blicken könne, so würde die Netzhaut
er neuen Berechnung in der Axe des Auges 22,819 mm von der
n Hornhautfläche entfernt sein, und bei dem anderen berechneten
odationszustande ein Gegenstand deutlich gesehen werden, welcher
mm vor dem vorderen Brennpunkte, oder 152,46 mm vor der Horn-
gt. Es würde dies der Accommodationsbreite eines normalen Auges
sprechen.

ränderungen der Hornhautkrümmung wollten einige ältere Beobachter[1] bei eren Untersuchungsmethoden gefunden haben. Neuere genauere Messungen rümmung mit Hülfe der reflectirten Bilder haben ergeben, dafs sie ganz dert bleibt. Solche sind von SENFF[2], CRAMER[3] und mir selbst angestellt Das Ophthalmometer läfst eine sehr genaue Ausführung dieser Versuche bei Änderungen des Radius um $^1/_{200}$ seiner Gröfse wahrzunehmen sein während ein Wechsel der Sehweite zwischen 5 Zoll und unendlicher Ent- einen Wechsel des Krümmungshalbmessers von 6,8 auf 8 mm erfordern wenn eine solche Veränderung die Accommodation bewirken sollte. Ich ber durchaus negative Resultate erhalten. Zu erwähnen ist hier noch sinnreicher Versuch von TH. YOUNG, welcher dasselbe beweist. Er be- ihn folgendermaafsen: „Ich nehme aus einem kleinen botanischen Mikroskope convexe Linse von $^8/_{10}$ Zoll Radius und Brennweite, befestigt in einer rmigen Fassung von $^1/_5$ Zoll Tiefe, und mache ihre Kante mit Wachs cht. Ich tröpfle ein wenig mäfsig kaltes Wasser hinein, bis es zu drei damit angefüllt ist, und bringe es dann an das Auge, so dafs die Horn- das Becken hineinragt und überall mit dem Wasser in Berührung ist. [illegible] wird dadurch sogleich weitsichtig, und das Brechungsvermögen der Glas- [illegible] durch das Wasser auf etwa 1,6 Zoll Brennweite zurückgeführt ist. [illegible] hinreichend, die Stelle der Hornhaut zu vertreten, welche durch das unwirksam geworden ist; aber die Hinzufügung einer anderen Linse von Brennweite bringt mein Auge zu seinem natürlichen Zustande zurück, [illegible] etwas darüber hinaus. Ich wende dann das Optometer an, und finde Ungleichheit in der horizontalen und verticalen Brechung wie ohne Wasser, [illegible] in beiden Richtungen eine Accommodationsfähigkeit bis zu einer von 4 Zollen wie vorher. Im ersten Augenblicke erschien mir die [illegible] allerdings etwas geringer und nur im Stande, das Auge von dem [illegible] Strahlen geeigneten Zustande zu einer Sehweite von 5 Zoll zu bringen. [illegible] mich glauben, dafs die Hornhaut eine kleine Wirkung im natürlichen haben könnte; indem ich aber überlegte, dafs die künstliche Hornhaut [illegible] Zoll vor der Stelle der natürlichen sich befand, berechnete ich die [illegible] Unterschiedes und fand ihn genau ausreichend, um die Verringerung [illegible] der Sehweite erklären."

[illegible] sich beim Nahesehen der Pupillarrand der Iris nach [illegible], läfst sich wenigstens annähernd bestimmen, nachdem man die [illegible] Krümmung der Hornhaut und die Entfernung der Pupillenfläche von

[1] [illegible] Lugd Batav. 1712. p. 119. — HOME, Philos. Transact. 1796. p. 1
[2] [illegible] in R. WAGNER, Handwörterbuch der Physiologie
[3] CRAMER, Het Accommodatievermogen der Oogen. Harlem 1853 p. 45

der Hornhaut bestimmt hat. Es sei *C Fig. 73* die Hornhaut, *c* und *d* ihr äufserer
*a b* die Pupille beim Fernsehen. Hat sich nun der Beobachter gegen dieses A
113 gestellt, dafs ihm die ganze Pupille gerade verdeckt wird, so mufs *c b* die Gesich
des Beobachters in der wässrigen Feuchtigkeit sein. Wird nun beim Naheseh
ganze Pupille vor dem Rande der Sclerotica eben sichtbar, und kennt man ihre
*α β*, so mufs sie ganz vor der Linie *c b* liegen
doch an diese anstofsen, so wie in *Fig. 65*
geben ist, und dadurch findet man wenigstens
nähert die Gröfse ihrer Verschiebung. Diese
unter den von mir untersuchten Augen bei
Auge *O. H.* 0,36 mm, bei dem Auge *B. P.* 0,4
Tritt die Pupille beim Nahesehen nicht gan
sondern nur die Hälfte, zwei Drittel u. s. w
selben, so mufs man die Gröfse des hervortretenden Theils schätzen und dana
Berechnung anstellen.

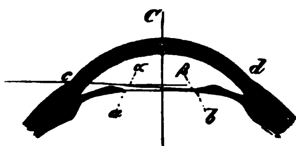


*Fig. 73.*

n Da die vordere Fläche der Linse eine, wenn auch kleine, Quantität des einfal
Lichtes reflectirt — das gröfsere der bekannten SANSON'schen Bildchen — so kann
Spiegelung, wie bei der Hornhaut, zur Bestimmung des Krümmungshalbmesse
vorderen Linsenfläche gebraucht werden. Indessen mufs eine andere Methode
schlagen werden, und läfst sich auch nicht eine gleiche Genauigkeit erreichen, w
den Messungen der Hornhaut, weil der Reflex kein recht scharfes Bild form
wenigstens, wenn er von Lampenlicht herrührt, zu schwach ist, um im Ophthalm
in deutlich sichtbare Doppelbilder zerlegt werden zu können. Jedes der Doppe
hat natürlich nur die halbe Lichtstärke des einfachen Bildes.

Es schien mir daher am besten, die Gröfse des Bildchens der vorderen
fläche mit einem dicht daneben stehenden Hornhautbildchen zu vergleichen,
Gröfse leicht berechnet oder gemessen werden kann. Ich mufste defshalb zwei gesp
Objecte haben, das eine von veränderlicher Gröfse, um das Hornhautbild des einen
dem ersten SANSON'schen Bilde des andern machen zu können.

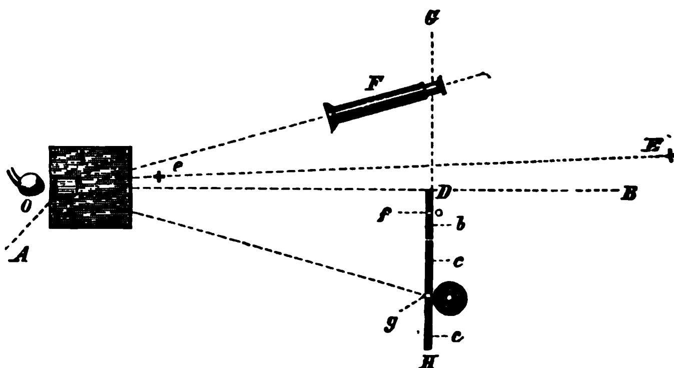


*Fig. 74.*

Die Anordnung des Apparates ist perspectivisch dargestellt *Fig. 75* und im
rifs in *Fig. 74*. *O* ist das beobachtete Auge, dicht vor ihm liegt ein kleines
Metallspiegelchen *A* (ich benutzte ein OERTLING'sches Stahlspiegelchen) horizont
einer festen Unterlage. In einiger Entfernung ($1^1/_2$ Fufs) davor befinden sich zwe
bare Schirme *b* und *cc* mit den Öffnungen *f* und *g*. Die Öffnung *f* ist eng (2 Lin

[illegible] hinter ihr steht ein kleines Wachslichtchen. Die Öffnung $g$ ist gröſser (9 Linien [illegible]drat), hinter ihr befindet sich eine recht helle und groſse Lampenflamme. Das [illegible] $O$ stellt sich nun so, daſs es gleichzeitig über den Spiegel $A$ hinweg die beiden [illegible] Öffnungen sieht, als auch im Spiegel ihre Spiegelbilder, welche scheinbar $f_1$ und $g_1$ liegen. Die Öffnung $f$ und ihr Spiegelbild $f_1$ bilden nun das Object für [illegible]hautspiegelung, die Öffnung $g$ und ihr Spiegelbild $g_1$ das Object für die Linsen[illegible]. Um die Schirme richtig zu stellen, werden auf dem Tische erst, wie der [illegible] zeigt, die Linien $OB$ und senkrecht dazu $GH$ gezogen. Letztere fällt mit [illegible] beider Schirme zusammen. Dem beobachteten Auge $O$ wird ein Fixations[illegible] $E$ neben dem Ständer des Schirms $b$ vorbei in der Ferne angewiesen. Der Be[illegible] hat sein Auge, entweder unbewaffnet oder mit einem schwach vergröſsernden, lichtstarken Fernrohre $F$, versehen über der Linie $OF$, welche mit $OB$ einen [illegible] bildet, der gleich dem Winkel $gOB$ ist. Das Gesichtszeichen $E$ wird nun so [illegible], daſs der Linsenreflex in der Mitte der Pupille erscheint, und das Hornhaut[illegible] der kleineren Lichtpunkte dicht daneben. Dann wird der Schirm $b$ so lange [illegible] oder gesenkt, bis der Abstand der kleinen gespiegelten Lichtpunkte genau eben [illegible] ist, wie der der Mittelpunkte der gröſseren.

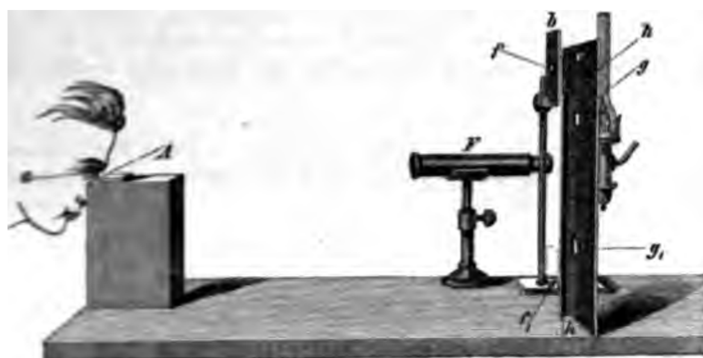



*Fig. 75.*

[illegible] Spiegelung auf der Hornhaut wird durch eine einfache spiegelnde Fläche be[illegible] negative Brennweite nach den bekannten Gesetzen der Katoptrik gleich dem [illegible] Krümmungsradius ist. Die vordere Linsenfläche ist aber in diesem Falle ein aus [illegible] und einer spiegelnden Fläche zusammengesetztes spiegelndes System, [illegible] convex concaven gläsernen Sammellinse, deren concave Seite mit Spiegelfolie [illegible]. Die Brennweite $q$ dieses spiegelnden Systems ist sowohl von der Krümmung [illegible], als von der der spiegelnden Fläche und ihrem gegenseitigen Abstande [illegible]. Diese Brennweite $q$ läſst sich aus dem beschriebenen Versuche bestimmen. [illegible] spiegelnde Systeme von weit entfernten Gegenständen entwerfen, ver[illegible] direct wie die Brennweiten der Systeme, wenn also zwei verschiedene [illegible] ungleichen gleich weit entfernten Gegenständen gleiche Bilder entwerfen, [illegible] Brennweite umgekehrt, wie die Gegenstände verhalten. Es verhält sich

$$q : \tfrac{1}{2}R = ff_1 : gg_1 .$$

[illegible] scheinbaren Abstand der Öffnung $g$ von ihrem Spiegelbilde $g_1$ zu finden, [illegible] sie einen senkrechten Maſsstab $hh$ Fig. 75. Das Spiegelbild $g_1$ liegt [illegible] unter der verlängerten Ebene des Spiegels $A$, als $g$ selbst darüber. Um [illegible] zu finden, wo die Spiegelebene den Maſsstab schneidet, braucht man nur [illegible] das Spiegelchen hinweg nach dem Maſsstabe hin zu visiren. Man sieht [illegible] Grenzlinie direct gesehene und gespiegelte Theilstriche sich decken. Die

Mitte zwischen zwei solchen sich deckenden Theilstrichen ist der Punkt des Maſ der in die Verlängerung der Spiegelebene fällt. Dessen Abstand von der Mi Öffnung $g$ doppelt genommen ist gleich dem Abstande $gg_1$. Ebenso findet man $f$

Es ergaben sich in drei verschiedenen Reihen von Versuchen folgende Wer das Verhältniſs $\frac{R}{2q}$:

| | O. H. | B. P. | I. H. |
|---|---|---|---|
| $\frac{R}{2q} =$ | 0,308 | 0,635 | 0,544 |
| | 0,313 | 0,618 | 0,544 |
| | 0,346 | 0,571 | 0,478 |
| Mittel | 0,322 | 0,608 | 0,522 |
| $q =$ | 11,39 mm | 6,288 mm | 7,810 mm |

Endlich ist aus $q$ noch der Radius $r$ der vorderen Linsenfläche zu berechne Herleitung der Formel, welche die Brennweite eines zusammengesetzten brechend spiegelnden Systems giebt, ist weitläuftig aber ohne Schwierigkeiten. Ich gebe hier nur ihr Resultat, und zwar gleich für einen etwas allgemeineren Fall. V spiegelnden Fläche vom Radius $r$ (Radien concaver Flächen als positiv, conve negativ betrachtet) stehe ein System brechender Kugelflächen, deren erste Bre (in Luft) $f_1$, die zweite Brennweite (im letzten brechenden Medium) $f_2$ ist. Der A der spiegelnden Fläche vom zweiten Hauptpunkte des brechenden Systems sei $d$,

$$q = -\frac{f_1 . f_2 . r}{2(f_2 - d).(f_2 - d + r)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots$$

Die Haupt- und Knotenpunkte des Systems fallen in einen Punkt zusamme dieser ist das von dem Systeme entworfene Bild des Scheitels der brechenden Aus dem Werthe von $q$ findet sich:

$$r = \frac{q.(f_2 - d)^2}{\frac{1}{2} f_1 . f_2 - q.(f_2 - d)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots$$

Die beiden Gröſsen $f_1$ und $f_2$ sind oben für die Hornhäute der untersuchten berechnet worden. Für die Gröſse $d$ können wir hier ohne Nachtheil den A zwischen der Pupillarfläche und der Mitte der Hornhaut setzen. Es ergiebt si Krümmungshalbmesser der vorderen Linsenfläche

für das Auge O. H. gleich 11,9 mm
- - - B. P. - 8,8 -
- - - I. H. - 10,4 -

Bei zwei todten Linsen fand ich mit dem Ophthalmometer den Krümmung der vorderen Fläche gleich 10,2 und 8,9 mm, was mit den Messungen an den le Augen gut stimmt.

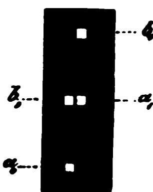
Mittels des Apparates, *Fig. 73* und *74*, kann nun auch leicht die Gröſsenv rung des Bildes der vorderen Linsenfläche gemessen werden, indem man die Beoba ganz ebenso ausführt, wie dort beschrieben ist, und nur die Augen für das nähe sichtszeichen accommodiren läſst. Ich fand unter diesen Umständen die Brennw des aus der Hornhaut und vorderen Linsenfläche zusammengesetzten spiegelnden S und den Krümmungsradius $r$ der vorderen Linsenfläche, wie folgt:

113

| Auge. | Krümmungshalbmesser der vorderen Linsenfläche fernsehend. | nahsehend. | Verschiebung der Pupille bei Accommodation für die Nähe. |
|---|---|---|---|
| O. H. | 11,9 | 8,6 | 0,36 |
| B. P. | 8,8 | 5,9 | 0,44 |
| J. H. | 10,4 | | |

n den Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche nach den obigen Gleichungen 114
en zu können, mufs man den Krümmungsradius der Hornhaut und die Entfernung deren Linsenfläche (Pupille) von der Hornhaut kennen. Beide Gröfsen waren an geführten Augen schon vorher gemessen.

s Spiegelbild, welches die hintere Linsenfläche von fernen Gegenständen enträndert seine Gröfse ebenfalls bei geänderter Accommodation des Auges, aber in sehr ndem Grade. Ich beobachtete diese Veränderung durch das Ophthalmometer, ch zwei Flammen senkrecht über einander seitlich vom Auge hinter den Öffnungen chirms aufstellte und deren von der hinteren Linsenfläche ge- e Bilder beobachtete. Ich stellte die Doppelbilder der beiden . so wie *Fig 76* zeigt, neben einander. Hier sind $a_0$ und $a_1$ die ilder des unteren, $b_0$ und $b_1$ die des oberen Lichts. Die r genäherten Bilder $a_1$ und $b_0$ deckten sich nicht, sondern stanht neben einander, so dafs ich sie gesondert erkennen konnte. r Accommodation für die Nähe verschob sich $b_0$ etwas in der g nach $a_0$ und $a_1$ in der Richtung nach $b_1$ hin. Ich schätzte die der Verschiebung etwa gleich der Hälfte der Breite eines jeden Flecks, und da die Entfernung der Mittelpunkte der Öffnungen, welche das Licht fiel, gleich der sechsfachen Breite der Öffnungen war, so war rkleinerung des Bildes etwa ¹/₁₂ seiner Gröfse. Andere Beobachter haben zum twas gröfsere Änderungen gefunden (s. S. 147).


*Fig. 76.*

adlich suchte ich noch zu ermitteln, ob die hintere Linsenfläche sich bei der odation für die Nähe in der Richtung von hinten nach vorn verschöbe. Ich verfuhr n derselben Weise, wie ich die scheinbare Entfernung der hinteren Linsenfläche r Hornhaut bestimmt hatte. Bei derselben Anordnung des Apparates untersuchte der Lichtreflex der hinteren Linsenfläche bei veränderter Accommodation und unverr Richtung der Augenaxe seinen Platz änderte, wobei abwechselnd das Fernrohr und das Licht links, dann wieder das Fernrohr links und das Licht rechts stand. habe ich keine Ortsveränderung dieses Bildchens bemerken können. Die scheinfernung der hinteren Linsenfläche von der Hornhaut wird also bei den Accomänderungen nicht merklich verändert.

s dürfen wir nun aus diesen Veränderungen des Spiegelbildchens und des Ortes der hinteren Linsenfläche auf die wirklichen Veränderungen derselben ziehen? Der scheinbare Ort dieser Fläche wird durch die Brechung in der erhaupt sehr wenig geändert, da sie dem hinteren Knotenpunkte der Linse nahe liegt, und wir können daraus schliefsen, dafs auch die Unterschiede ihrer ung durch die Brechung bei verschiedenen Accommodationszuständen des enfalls so klein sein werden, dafs wir sie vernachlässigen können. So wird dem neueren schematischen Auge, dessen optische Constanten wir in diesem Pa- als Beispiel berechnet haben, beim Fernsehen die hintere Linsenfläche um 0,166 mm, beim Nahesehen um 0,102 mm nach vorn verschoben; sie würde ährend sie in Wirklichkeit an ihrer Stelle bleibt, sobald das Auge sich Nähe accommodirt, scheinbar um 0,064 mm nach hinten rücken. Dies ist wenig, um wahrgenommen zu werden. Übrigens kann diese Rechnung eben nur , zu zeigen, dafs die Verschiebungen und ihre Unterschiede überhaupt klein ge um den Sinn dieses Unterschiedes in der wirklichen Krystallinse zu rben wesentlich die Entfernung der Hauptpunkte der Linse von einander kommt, welche in der Krystallinse jedenfalls geringer ist als in den schemagenen Linsen.

nen also nur sagen, dafs der wahre Ort der hinteren Linsenfläche modationsänderungen nicht merklich geändert werde.

ermitteln, wie das von der hinteren Linsenfläche entworfene Spiegelbild derungen der Augenmedien verändere, denken wir uns die spiegelnde Fläche unendlich dünne Schicht Glaskörper von der letzten brechenden Fläche des

Auges getrennt. Dann können wir für die Cardinalpunkte des brechenden System Cardinalpunkte des Auges nehmen. Es sei $n$ das Brechungsverhältniſs des Glaskör ferner nennen wir $p$ die Entfernung des hinteren Brennpunktes des Auges vor hinteren Linsenfläche nach hinten gerechnet, $\varepsilon$ die des zweiten Knotenpunktes des
115 von derselben Fläche nach vorn gerechnet. In der Gleichung 1), welche die B weite eines zusammengesetzten brechenden und spiegelnden Systems giebt, haben zu setzen

$$f_1 = p + \varepsilon$$
$$f_2 = n.(p + \varepsilon)$$
$$f_2 - d = p.$$

Dann wird der Werth der Brennweite des brechenden und spiegelnden Systems:

$$q = \frac{n.r}{2} \cdot \frac{(p + \varepsilon)^2}{p.(p + r)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots$$

Bei der Accommodation für die Nähe wird $\varepsilon$ jedenfalls gröſser, weil bei der G veränderung der Linse die Knotenpunkte des Auges vorrücken müssen; dadurch auch, wenn sich $r$ und $p$ gar nicht veränderten, der Werth von $q$ und die Gröſs Spiegelbildes zunehmen müssen. Dagegen wird $p$ bei der Accommodation für die kleiner und dadurch kann der Werth von $q$ auch kleiner werden, unter den Ve nissen dieser Gröſsen im Auge. Differentiirt man $q$ nach $p$, so erhält man

$$\frac{dq}{dp} = \frac{n.r}{2} \cdot \frac{p + \varepsilon}{p^2.(p + r)^2} \cdot [p.r - (2p + r).\varepsilon].$$

Von den Factoren dieses Ausdrucks kann nur der letzte, in der eckigen Klammer schlossene negativ werden, wird es aber wohl im normalen Auge nicht, da $\varepsilon$ ge und $r$ sehr klein ist. Es wird $\frac{dq}{dp}$ positiv sein, d. h. $q$ wird mit $p$ zugleich g und kleiner werden. Es würde also bei der Accommodation für die Nähe, wo kleiner wird, wenn wir vorläufig von der Veränderung von $\varepsilon$ absehen und $r$ co setzen, auch $q$ und das Spiegelbild der hinteren Linsenfläche kleiner werden kö und man könnte vermuthen, die beobachtete Verkleinerung dieses Bildes sei da hervorgebracht. Die Rechnung nach der Gleichung 2) indessen ergiebt das Geger Nehmen wir aus LISTING's schematischem Auge die Werthe $p = 14{,}647$, $\varepsilon = 0$ $r = 6$, so würde $p$ auf 10,597 verkleinert werden müssen, um $q$ um $^1/_{12}$ seines W zu verringern. Der hintere Brennpunkt des Auges müſste also 4 mm vor die Net rücken, was jedenfalls schon die mögliche Veränderung der Lage dieses Punktes schreitet. Aber da ein Theil der hierdurch bewirkten Verkleinerung des Bildes das Vorrücken der Knotenpunkte (d. h. Vergröſserung von $\varepsilon$) wieder aufgehoben w würde, wie vorher auseinandergesetzt ist, so können wir nicht zweifeln, daſs die kleinerung des Bildchens auf der hinteren Linsenfläche ohne eine, wenn auch g Vermehrung der Krümmung dieser Fläche nicht die beobachtete Gröſse haben kön

Berechnet man die Brennweiten $q$ für das neuere schematische Auge dieses graphen, so findet man für das fernsehende 2,850, für das nahesehende 2,715, welche G nur um $^1/_{21}$ ihres Werthes unterschieden sind, während die dazu gehörigen Krümm radien (6 und 5,5 mm) um $^1/_{12}$ differiren. Hier verdeckt also die Änderung der bre den Mittel die des Krümmungsradius zum Theil, und läſst sie kleiner erscheinen, wirklich ist. Wir schlieſsen daraus, daſs die hintere Fläche der Linse bei der A modation für die Nähe sich stärker wölbt.

831 KNAPP[1] hat an vier individuellen Augen die Lage des Fernpunkts und Nahep die Krümmung und Lage der Hornhaut und der Linsenflächen beim Sehen für die wie bei der Accommodation für die Nähe bestimmt und gefunden, daſs die au Krümmungsänderungen der Krystallinse berechnete Accommodation hinreichend g

---

[1] H. KNAPP, *Graefe's Archiv für Ophthalmologie*. VI. (2) S. 1. 1860.

wirklich stattfindenden Accommodationsbreite übereinstimmte, so dafs die Annahme r Verlängerung des Auges hierdurch ausgeschlossen war.

Ähnliche Bestimmungen sind ferner gemacht worden von ADAMÜCK und WOINOW[1] n MANDELSTAMM und SCHÖLER[2], von REICH[4] und endlich von WOINOW[5].

Ich gebe hier die von diesen Beobachtern gemessenen Werthe sowohl beim Sehen die Ferne, wie bei der Accommodation für die Nähe, und füge, des Vergleichs halber, schon oben angegebenen Resultate meiner eigenen Bestimmungen hinzu.

| | | Krümmungsradius der Hornhaut | Abstand der vorderen Fläche der Krystallinse von dem Hornhautscheitel | | Abstand der hinteren Fläche der Krystallinse von dem Hornhautscheitel | | Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche | | Krümmungsradius der hinteren Linsenfläche | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | für den Fernpunkt | für den Nahepunkt | für den Fernpunkt | für den Nahepunkt | für den Fernpunkt | für den Nahepunkt | für den Fernpunkt | für den Nahepunkt |
| Helmholtz | I | 7.338 | 4.024 | 3.664 | 7.172 | 7.172 | 11.9 | 8.6 | 5.83 | |
| | II | 7.646 | 3.597 | 3.157 | 7.232 | 7.232 | 8.8 | 5.9 | 5.13 | |
| | III | 8.154 | 3.739 | — | 7.141 | 7.141 | 10.4 | — | 5.37 | |
| Knapp | IV | 7.7705 | 3.5924 | 3.0343 | 7.5127 | 7.5127 | 8.2972 | 5.3213 | 5.3546 | 4.6585 |
| | V | 8.0303 | 3.6073 | 3.0533 | 7.4568 | 7.4568 | 7.9459 | 4.8865 | 5.4867 | 4.9536 |
| | VI | 7.1653 | 3.3774 | 2.7295 | 7.1534 | 7.1534 | 7.8600 | 4.8076 | 6.9012 | 5.6098 |
| | VII | 7.2053 | 3.4786 | 2.8432 | 7.1011 | 7.1011 | 9.0641 | 5.0296 | 6.4988 | 5.0855 |
| Adamück und Woinow | VIII | 7.2303 | 3.9981 | 3.29523 | 7.200 | 7.200 | 9.77751 | 8.21771 | 6.06353 | 4.6941 |
| | IX | 7.15568 | 3.23731 | 2.98985 | 7.200 | 7.200 | 10.2021 | 8.5975 | 6.2156 | 5.0001 |
| | X | 6.85224 | 2.8997 | 2.4876 | 6.8435 | 6.8247 | 9.1139 | 7.3104 | 7.6008 | 6.3792 |
| | XI | 7.17369 | 3.6332 | 3.07682 | 7.200 | 7.200 | 10.543 | 8.80103 | 6.5331 | 5.6293 |
| Mandelstamm und Schöler | XII | 7.3408 | 3.7097 | 3.4606 | 7.5780 | 7.9048 | 10.5409 | 6.4881 | 6.4088 | 5.0494 |
| | XIII | 7.785 | 3.539 | 2.954 | 7.1218 | 6.803 | 10.159 | 6.496 | 6.331 | 5.604 |
| Reich | XIV | 7.201 | 3.654 | 3.3924 | 7.6474 | 7.7817 | 10.408 | 5.9358 | 6.5875 | 4.9872 |
| | XV | 7.4544 | 3.708 | 3.3234 | 7.4164 | 7.4879 | 10.5650 | 7.3822 | 5.5373 | 4.5825 |
| | XVI | 7.7939 | 3.6516 | 3.2626 | 7.4332 | 7.5861 | 11.197 | 8.2045 | 6.2229 | 5.1976 |
| Woinow | XVII | 8.00747 | 3.6175 | 3.0028 | 7.200 | 7.200 | 9.3785 | 5.2304 | 6.2480 | 4.9714 |

Für den **Mechanismus der Accommodation** ist es wichtig, den Ursprung der 115 genau zu kennen. Ich habe den *Canalis Schlemmii* mit Umgebung, wie er sich auf Querschnitten der Augenhöhle darstellt, in *Fig. 2* (S. 7) abgebildet. *A* ist der Durchschnitt des Kanals, der wohl auch im lebenden fernsehenden Auge eine längliche bildet, *C* die Cornea, *S* die Sclerotica, *D* die Bindehaut, *B* die Aderhaut, *E* ein Ansatz, *J* die Iris. Die innere Wand des Kanals ist aus verschiedenen Geweben zusammengesetzt. Der hinterste Theil dieser Wand bei *a* besteht ganz deutlich aus demselben Gewebe eng durchflochtener Sehnenfasern wie die Sclerotica, von der er ausgeht. Der vordere Theil besteht dagegen aus einem anderen Gewebe, welches undurchsichtiger als das Sehnengewebe, stärker sich abzeichnende, gegen Essigsäure und Kali sehr

1 E. ADAMÜCK u. M. WOINOW, *Gräfe's Archiv für Ophthalmologie.* XVI. (1) S. 144. 1870.
2 MANDELSTAMM u. H. SCHÖLER, *Gräfe's Archiv für Ophthalmol.* XVIII. (1) S. 155. 1872.
4 M. REICH, *Gräfe's Archiv für Ophthalmol.* XX. (1) S. 207. 1874.
5 M. WOINOW, *Ophthalmometrie.* Wien. 1871. S. 119.

resistente Fasern enthält, und daher wohl für elastisches Gewebe zu halten ist. Nach vorn schiebt es sich zwischen *Membrana Descemetii* und die Knorpelsubstanz der Horn-
116 haut ein, nach hinten heftet es sich theils an den hinteren sehnigen Theil der Wand, theils verbindet es sich mit den Faserzügen des Spannmuskels der Aderhaut. Das System der Aderhaut hängt nur mit der hinteren Hälfte der inneren Wand des SCHLEMMschen Kanals fest zusammen, wo der sehnige und elastische Theil sich verbinden. Doch entspringt auch von dem vorderen Theile der Kanalwand ein lockeres Netzwerk von Fasern, die die Charaktere der elastischen an sich tragen, welche sich an den Anfang der Iris anheften. Die Fasermassen, welche dem Spannmuskel und der Iris angehören, sieht man zum Theil von der Wand des Kanals entspringen, zum Theil mögen sie aber auch direct von der Aderhaut auf die Iris übergehen. In dem Gewebe der Ciliarfortsätze sieht man eine grofse Zahl weiter Lumina durchschnittener Blutgefäfse, auf ihrem dem Glaskörper zugekehrten Rande die Lage des schwarzen Pigments.

Um sich von der Richtigkeit der hier gegebenen Darstellung des Ansatzes der Iris zu überzeugen, mufs man einerseits feine Schnitte von getrockneten Augenhäuten untersuchen, dabei aber beachten, dafs das Trocknen sehr starke Verzerrungen hervorbringen kann, und dafs die elastischen Fasern vor dem Ansatze der Iris sehr leicht reifsen oder brechen, wenn man die Iris von der Hornhaut abzieht. Andererseits mufs man frische Präparate untersuchen, wobei man am besten eine Borste in den SCHLEMMschen Kanal einführt, ebenfalls aber sehr sorgfältig jedes Ziehen an der Iris oder Chorioidea vermeiden mufs, denn dadurch kann man der Muskelmasse, durch welche diese Theile befestigt sind, jede beliebige Gestalt geben. Hebt man die Iris leise auf, und legt sie auf die Ciliarfortsätze zurück, so bemerkt man die feinen elastischen Fäden, welche sich zum vorderen Rande des Kanals hinüberspannen. Zieht man dann die Borste nach vorn, so erkennt man leicht die elastische Dehnbarkeit des vorderen Theils der Kanalwand. Schlägt man dagegen Iris und Chorioidea nach vorn über, und zieht die Borste nach hinten an, so zeigt sich der hintere Theil der Wand als unausdehnbar.

Die beschriebene Art des Ansatzes scheint mir für das Zurückweichen der Seitentheile der Iris beim Nahesehen wichtig zu sein. Ist die Iris nämlich erschlafft, so wird sie durch das Netzwerk der elastischen Fasern bei *b* bis zum vorderen Rande des SCHLEMMschen Kanals an dessen innerer Wand festgehalten. Spannen sich dagegen die circulären und radialen Fasern der Iris gleichzeitig, so bietet erst die Sehnenmasse am hinteren Rande des Kanals ihrem Zuge einen genügend festen Widerstand, und man kann daher sagen, die erschlaffte Iris setzt sich an den vorderen, die gespannte an den hinteren Rand des SCHLEMMschen Kanals, welche im Mittel 0,45 mm auseinanderliegen. In *Fig. 70*, S. 134, habe ich das verschiedene Verhalten des Ansatzes der Iris beim Fernsehen (Seite *F*) und Nahesehen (Seite *N* der Figur) darzustellen gesucht. Der SCHLEMMsche Kanal ist auf beiden Seiten mit *s* bezeichnet.

Ein anderer Theil des Auges, dessen Wirkungen bei der Accommodation noch in Betracht kommen könnten, sind die Ciliarfortsätze. L. FICK[1] hat nachgewiesen, dafs sie unter dem Einflusse des elektrischen Stromes sich zusammenziehen, und ihr Blut entleeren, welches durch ziemlich weite Gefäfsverbindungen leicht in die *Vasa vorticosa* der Aderhaut abfliefsen kann. Er nimmt an, dafs durch diesen Übergang des Blutes in den Theile des Auges, welcher hinter der durch die Linse und Zonula gebildeten Scheidewand liegt, der hydrostatische Druck vermehrt, vorn vermindert werde. Dadurch werde die Mitte der Linse nach vorn gedrängt, ihre vordere Fläche wölbe sich deshalb mehr. Dagegen behauptet FICK folgerichtig, dafs die hintere Fläche dabei flacher werde, was den Beobachtungen nicht entspricht. Auch J. CZERMAK[2] hat in einem Versuche, den Mechanismus der Accommodation zu erklären, neben der von CRAMER angenommenen Spannung der Iris und des Ciliarmuskels eine Anschwellung der Ciliarfortsätze zu Hülfe genommen, wodurch ein Druck auf den Rand der Linse ausgeübt werden könnte.

[1] L. FICK, *J. Müller's Archiv.* 1853. S. 449.
[2] J. CZERMAK, *Prager Vierteljahrsschr. für practische Heilkunde.* XLIII. S. 109.

gen die Ansicht, dafs die Augenmuskeln durch ihren Druck auf den Augapfel estalt veränderten, ihn namentlich in Richtung der Augenaxe verlängerten, und die Netzhaut weiter von der Linse entfernten, eine Ansicht, die vor der Entder Formänderung der Linse viel gewichtige Freunde hatte, ist anzuführen, dafs, wie ich durch Messungen mit dem Ophthalmometer gefunden habe, jede 117
ng des hydrostatischen Drucks im Auge die Hornhaut flacher macht, was man den Augen würde beobachten können, wenn es der Fall wäre, und zweitens, einem geringen Drucke mit dem Finger auf den Augapfel durch den Augenbeobachtet werden kann, wie die Gefäfse der Netzhaut enger werden, nur noch rende Blutströme bei den Pulswellen hindurchlassen, endlich ganz collabiren. die intermittirende Bewegung (sichtbare Pulsation der Schlagadern) beginnt[1], verlet die Empfindlichkeit der Netzhaut, wahrscheinlich wegen ungenügender Blutund das Gesichtsfeld wird vollkommen schwarz.

ndlich sind noch die Versuche von TH. YOUNG anzuführen, welche wohl kaum weifel darüber bestehen lassen können, dafs auch nicht die geringste Verlänger Augenaxe beim Nahesehen eintritt. Man kann die Fläche der Bindehaut des wischen den Augenlidern mit einem glatten, gut polirten Stücke Metall ohne che Beschwerde berühren. Man setze in den inneren Augenwinkel auf die Bindeen glatten eisernen Ring (eines Schlüssels) auf, den man fest gegen den inneren ler Augenhöhle anstemmt, und wende das Auge nach der inneren Seite herüber, man durch den Ring und an dem Nasenrücken vorbei in die Ferne sieht. Dabei der innere Umfang der Hornhaut ganz dicht an den Schlüssel zu liegen, und es mit verhindert, dafs der Augapfel bei der Accommodation sich nach vorn vern könne. Nun dränge man den Ring eines ganz kleinen Schlüssels am äufseren winkel zwischen den Augapfel und Knochen ein. Dabei wird durch den Druck n Augapfel die Netzhaut gereizt, und es erscheint im Gesichtsfelde scheinbar vor senrücken ein dunkler, anfangs auch wohl heller Fleck, ein Druckbild. Dieses bei YOUNG bis auf die Stelle des deutlichsten Sehens, und er konnte erkennen, rade Linien im Bereiche dieses Druckbildes eine leichte Krümmung erhielten, einer durch den Druck veranlafsten leichten Einbiegung der Sclerotica herschien. Da das Druckbild an der Stelle des deutlichsten Sehens entstand, der kleine Schlüssel die Gegend des gelben Flecks an der Hinterseite des Augfen. Unter diesen Umständen kann eine Verlängerung der Augenaxe offenbar treten, ohne die Schlüssel von ihrer Stelle zu drängen. Wäre also die Accomn mit einer Verlängerung der Augenaxe verbunden, so müfste sie unter diesen den entweder ganz unmöglich sein, oder es müfsten die Schlüssel verdrängt und es müfste dabei das Druckbild wegen stärkerer Einbiegung der Hinterwand apfels an Umfang aufserordentlich zunehmen. Nichts von allem diesem ist der Das Auge kann vollständig so gut wie sonst accommodirt werden, und das Drucktet bei veränderter Accommodation ganz dasselbe.

a YOUNG scheint etwas hervorstehende Augen gehabt zu haben, wie auch aus Versuchen, welche er beschreibt, hervorgeht. In meinem eigenen Auge reicht innere Rand des Druckbildes bis zur Stelle des deutlichsten Sehens; übrigens auch ich mich vollständig von der Möglichkeit der Accommodation und der nderlichkeit des Druckbildes überzeugen.

s diesem Versuche folgt zunächst unmittelbar, dafs die Entfernung des inneren s der Hornhaut von dem gelben Flecke oder einem Punkte der Hinterwand ch aufsen vom gelben Flecke vollständig unveränderlich sei. Es würde aber die ung der Hornhaut von dem gelben Flecke ohne auffallende Asymmetrie des ht nicht verändern können, wenn nicht die genannte Entfernung ihres Randes falls änderte.

---

[1] DONDERS, Nederl. Lancet. 1854 Nov. S. 275.

FORBES meinte, daſs bei der Accommodation für die Nähe das innere Auge unte einen stärkeren Druck gesetzt werde, und die Linse, weil sie wegen der verschiedene Form und Dichtigkeit ihrer Schichten nach verschiedenen Richtungen hin verschiede elastisch sei, ihre Form ändere. DE HALDAT hat dagegen keine Veränderung de Brennweite des brechenden Apparates des Auges und einzelner Linsen finden können welche er im Wasser comprimirte[1].

Über keinen anderen Gegenstand der physiologischen Optik sind so viel wider sprechende Ansichten aufgestellt worden, als über die Accommodation des Auges, wei
118 erst in neuerer Zeit entscheidende Beobachtungsthatsachen gefunden wurden, und man bis dahin fast nur einem Spiel von Hypothesen überlassen gewesen war. Um die Übersicht zu erleichtern, werde ich die chronologische Ordnung verlassen, welche überdies in der späteren Zusammenstellung der Literatur beibehalten werden wird, und werde die verschiedenen Ansichten vielmehr nach ihren wesentlichen Zügen zu sammengruppiren.

1) Ansichten, welche die Nothwendigkeit und das Vorhandensein einer Änderung des brechenden Apparates ganz leugnen. Mehrere Naturforscher glaubten, daſs das thierische und menschliche Auge die Fähigkeit habe, abweichend von den künstlich gefertigten Linsen die Bilder verschieden entfernter Gegenstände an gleichem oder wenigstens unmerkbar verschiedenem Orte zu entwerfen. MAGENDIE[2] behauptete sich davon an den Augen von weiſsen Kaninchen überzeugt zu haben, bei denen das Pigment der Aderhaut fehlt, und daher das Bild durch den hinteren Theil der Sehnenhaut gesehen werden kann. In der That kann aber das Bild nicht scharf genug durch die Sehnenhaut gesehen werden, um die geringen Unterschiede, welche bei der Accommodation in Betracht kommen, zu bemerken. Dasselbe wie MAGENDIE behaupteten RITTER[3] und HALDAT[4]. Für die Krystallinse allein genommen, behaupteten HALDAT und ENGEL[5] dasselbe. Wenn man die Krystallinse aus den Augenflüssigkeiten herausnimmt, und sie von Luft umgeben untersucht, wird ihre Brennweite auſserordentlich kurz, und dann folgt aus den allgemeinen optischen Gesetzen, daſs die Abstände der Bilder für unendlich oder 7 Zoll entfernte Objecte nicht merklich unterschieden seien. Dadurch erklären sich die von ENGEL erhaltenen Resultate[6].

Durch genauer angestellte Versuche haben sich dagegen HUECK[7], VOLKMANN[8], GERLING[9], MAYER[6] und CRAMER[10] experimentell überzeugt, worüber die Theorie schon keinen Zweifel lassen konnte, daſs auch thierische und menschliche Augen Bilder verschieden entfernter Gegenstände in verschiedenen Entfernungen entwerfen.

TREVIRANUS[11] glaubte auch eine theoretische Erklärung für die vermeintliche Thatsache geben zu können, daſs die Lage der Bilder unabhängig von der Lage des Gegenstandes sei, indem er ein besonderes Gesetz für die Zunahme der Dichtigkeit in der Linse zu diesem Ende annahm. Seine mathematische Beweisführung ist durch KOHLRAUSCH[12] widerlegt worden.

STURM[13] glaubte die Abweichungen, welche die brechenden Flächen des Auges verglichen mit genauen Rotationsflächen zeigen, benutzen zu können, um die Accommodation

---

[1] C. N. A. DE HALDAT, *Comptes rendus.* XX. p. 61, 458 u. 1561.
[2] F. MAGENDIE, *Précis élémentaire de Physiologie.* I. p. 73. 1816.
[3] RITTER, *Graefe und Walther's Journal.* 1832. Bd. VIII. S. 347.
[4] DE HALDAT, *Comptes rendus.* 1842. *Ann. d. Chim. et de Phys.* Sér. 3. Tom. XII. p. 94.
[5] J. ENGEL, *Prager Vierteljahrsschr.* 1850. Bd. I. S. 167.
[6] S. ihre Widerlegung durch MAYER ebenda. 1850. Bd. IV. Auſserord. Beilage.
[7] A. HUECK, *Diss. de mutationibus oculi internis.* Dorpati 1826. p. 17. — *Die Bewegung der Krystallinse* Leipzig 1841.
[8] A. W. VOLKMANN, *Neue Beiträge zur Physiol. d. Gesichtssinnes.* 1836. S. 100.
[9] C. L. GERLING, *Poggendorff's Ann.* XLVI. 243.
[10] A. CRAMER, *Het Accommodatievermogen.* Haarlem 1853. S. 9.
[11] G. R. TREVIRANUS, *Beiträge zur Anat. u. Physiol. der Sinneswerkzeuge.* 1828. Heft I.
[12] R. H. KOHLRAUSCH, *Über Treviranus' Ansichten v. deutlichen Sehen in der Nähe u. Ferne.* Rinteln 18
[13] J. K. F. STURM, *Comptes rendus.* XX. 554, 761 u. 1238. S. die Widerlegungen von CRAHAY, *Bull. de Bruxelles.* XII. 2. 311. E. BRÜCKE, *Berl. Berichte.* I. 207.

Meinung brachten vor Olbers[1], Dugès[2], Hueck und Donders[3]. Eine eigenthümliche Ansicht über den Erfolg der Verengerung der Pupille, die aber durch den schon genannten Versuch ebenfalls widerlegt wird, stellte J. Mile[4] auf, nahm sie aber selbst später wieder zurück[5]. Er glaubte, dafs beim Fernsehen die Randstrahlen des Lichtbündels, welche vor der Netzhaut die Augenaxe schneiden würden, durch Diffraction am Rande der Pupille von der Augenaxe abgelenkt würden, und sie deshalb erst später schnitten. Die Diffraction des Lichts besteht aber keineswegs in einer solchen einfachen Ablenkung der ganzen Strahlen.

3) Ansichten, welche eine veränderte Krümmung der Hornhaut voraussetzen. Lobé[6] scheint der Erste gewesen zu sein, der eine Veränderung der Hornhautkrümmung wahrgenommen zu haben meinte. Olbers[7] wagt nach seinen eigenen Beobachtungen nicht bestimmt zu behaupten, dafs die Convexität beim Nahesehen zunehme. Home[8], Englefield und Ramsden dagegen wollten eine Vermehrung der Krümmung bestimmt wahrgenommen haben. Jemand, der ein gutes Accommodationsvermögen besitzt, wurde mit dem Kopf in den Ausschnitt eines festen Brettes befestigt, so dafs sein Kopf möglichst unbeweglich war. An dem Brette, in einem kleinen Abstande vom Auge, war eine Platte mit einer kleinen Öffnung befestigt (als Fixationspunkt), während ebenfalls an dem Brette zur Seite des Auges ein bewegliches Mikroskop angebracht war, durch welches man die vorderste Krümmung der Hornhautfläche wahrnehmen konnte. Das Mikroskop selbst war mit einem Ocularmikrometer versehen. Beim Nahesehen sollte die Hornhaut stärker gekrümmt werden, so dafs ihre Mitte um $^1/_{800}$ eines
120 englischen Zolles vorrückte. Messung der Spiegelbildchen auf der Hornhaut, welche Home später ausführte, ergab zweifelhaftere Resultate. Wahrscheinlich ist er in beiden Fällen durch sehr kleine, regelmäfsig eintretende Verschiebungen des Kopfes der beobachteten Person von hinten nach vorn getäuscht worden. Th. Young[9] fand, indem er die Spiegelbilder der Hornhaut der Messung unterwarf, keine solche Unterschiede, und widerlegte namentlich die Hypothese der veränderten Hornhautkrümmung sehr schlagend in der oben beschriebenen Weise dadurch, dafs er die unveränderte Existenz des Accommodationsvermögens nachwies, auch wenn das Auge unter Wasser gebracht ist. Hueck[10] fand bei der Wiederholung von Home's Versuchen ähnliche Resultate, meint aber ermittelt zu haben, dafs die Athmungsbewegungen regelmäfsige Schwankungen des Kopfes hervorbringen, indem wir beim Nahesehen gewöhnlich einathmen, beim Fernsehen ausathmen. Sobald er den Athem anhalten liefs, traten gar keine oder nur sehr unregelmäfsige Schwankungen der Mitte der Hornhaut ein. Diese unregelmäfsigen Schwankungen schienen durch Contractionen des Schliefsmuskels der Augenlider hervorgebracht zu sein, da bei jeder Berührung der Cilien der Augapfel etwas zurückgedrängt wurde. Burow[11] fand bei einer sorgfältigen Wiederholung von Home's Versuchen keine regelmäfsigen Schwankungen der Hornhautfläche; ebenso Valentin[12]. Senff[13] stellte Messungen der Spiegelbildchen mit einem Fernrohr an, wodurch seine Messungen von kleinen Verschiebungen des Auges unabhängig wurden, und fand, dafs der Krümmungshalbmesser der Hornhaut sich nicht um 0,01 Par. Linie veränderte, während das Auge bald auf 4, bald

---

[1] H. W. M. Olbers, *De oculi mutationibus internis.* Gotting. 1780. p. 13.
[2] Dugès, *Institut* 1834. No. 73.
[3] F. C. Donders in Ruete, *Leerboek der Ophthalmologie.* 1846. bl. 110.
[4] J. Mile, Magendie, *Journal de Physiologie.* VI. p. 166.
[5] J. Mile, *Poggendorff's Ann.* XLII.
[6] Lobé, Albinus, *Dissert. de oculo humano.* Lugd. Bat. 1742. p. 119.
[7] H. W. M. Olbers, *De oculi mutat. int.* p. 39.
[8] E. Home, *Philosoph. Transact.* 1795. p. 13 u. 1796. p. 2.
[9] Th. Young, *Philosoph. Transact.* 1801. I. p. 55.
[10] A. Hueck, *Die Bewegung der Krystalllinse.* S. 49.
[11] Burow, *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschl. Auges.* Berlin 1842. S. 115.
[12] G. G. Valentin, *Lehrbuch der Physiologie.* 1848. Bd. II. S. 122.
[13] Senff, Art. „Sehen" in R. Wagner's *Handwörterbuch der Physiologie.* S. 303.

[illegible]2 Zoll accommodirt wurde. Auch CRAMER[1] erhielt negative Resultate bei einer [illegible]g der Spiegelbilder auf der Hornhaut mit Hülfe seines Ophthalmoskops. Sehr [illegible] und genau läfst sich diese Art von Messungen mittels des von mir construirten [illegible]lmometers[2] ausführen, und gab mir ebenfalls negative Resultate.

[illegible] Anhänger der Ansicht, wonach die Accommodation durch Änderung der Horn[illegible]mmung bewirkt werde, sind aus späterer Zeit noch anzuführen FRIES[3], VALLÉE[4] [illegible]APPENHEIM[5]. Der Letztere nimmt an, dafs die Contraction der Iris beim Nahe[illegible] die Hornhaut convexer mache.

[illegible] Ansichten, nach welchen die Accommodation durch Verschiebung [illegible]nse bewirkt wird. Diese Annahme war die älteste, denn schon KEPLER[6], aus [illegible] Theorie des Sehens sich zuerst auch die Nothwendigkeit der Accommodation [illegible] stellte sie auf, und sie hat zu jeder Zeit viele Anhänger gehabt. Ihm folgten [illegible][7], PLEMPIUS[8], STURM[9], CONRADI[10], PORTERFIELD[11], PLATNER[12], JACOBSON[13], [illegible][14], J. MÜLLER[15], MOSER[16], BUROW[17], RUETE[18], WILLIAM CLAY WALLACE[19], C. [illegible][20] Die meisten dieser Männer hielten es für wahrscheinlich, dafs der Ciliarkörper [illegible] willkürlich hervorgebrachte Zusammenziehungen die Linse vor- und rückwärts be[illegible] könne. Um bei der Berechnung der Gröfse, um welche die Linse verschoben [illegible] müfste, um das Auge zu accommodiren, nicht unmögliche Gröfsen zu finden, war [illegible] gezwungen, der Hornhaut eine gröfsere, der Linse eine geringere Brennweite bei[illegible], als diese Theile wirklich besitzen. Unterstützt wurde diese Ansicht in neuerer 121
[illegible] noch namentlich durch Beobachtungen am lebenden Auge, welche bewiesen, dafs [illegible] Pupille sich beim Nahesehen der Hornhaut nähert. Bei Vögeln hat BIDLOO[21] schon [illegible] stärkere Wölbung der Iris beim Nahesehen bemerkt, was für den Menschen später [illegible][22], BUROW[23] und RUETE bestätigten. C. WEBER zeigte auf mechanischem Wege, dafs [illegible] die Vorderfläche der Linse sich nach vorn bewegt, sobald der vordere Theil [illegible] durch elektrische Ströme gereizt wird. Er machte zu dem Ende an dem [illegible] lebenden, durch Opium betäubten Hundes in der Mitte der Cornea eine [illegible]ffnung, führte ein passend befestigtes Stäbchen ein, bis es die vordere Fläche der [illegible] Das andere Ende des Stäbchens stützte sich gegen den kürzeren Arm [illegible] der das Vordrängen der vorderen Linsenfläche in vergröfsertem Maafs [illegible].

HANNOVER[24] nahm dagegen die Möglichkeit an, dafs die Linse in ihrer Kapsel sich [illegible] und hinten bewegen könnte, wozu ihr der sogenannte *Liquor Morgagnii*

1 CRAMER, *Het accommodatievermogen der Oogen.* Harlem 1853. bl. 45.
2 HELMHOLTZ, *Archiv für Ophthalmologie.* Bd. I. (2) S. 303.
3 FRIES, [illegible] Jena 1839. S. 27.
4 L. VALLÉE, [illegible] 1847 Oct. p. 501.
5 PAPPENHEIM, [illegible] Breslau 1842.
6 KEPLER, [illegible] Propos. 61.
7 SCHEINER, [illegible] Oeniponti 1619. Lib. III. p. 163.
8 PLEMPIUS, [illegible] Lovanii 1648. B. III.
9 CHR. STURM, [illegible] *illustrans.* Altdorfii 1693. p. 172.
10 CONRADI, [illegible] Bd. 15.
11 PORTERFIELD, [illegible] Edinburgh 1759. Vol. I. p. 450.
12 PLATNER, [illegible] Lipsiae 1738. p. 5.
13 [illegible] Copenh. 18[illegible]
14 [illegible] I. 77. [illegible] Ann. II. 271.
15 J. [illegible] Leipzig 1826. S. 212.
16 [illegible] Berlin 1843. Bd. V. S. [illegible]
17 [illegible] Berlin 1842.
18 [illegible]
19 [illegible] WALLACE, [illegible] New York 1850.
20 WEBER, [illegible] Marburgi 1850. p. 31.
21 [illegible] Lugd. Bat. 1715.
22 [illegible] S. [illegible]
23 [illegible] S. [illegible]
24 HANNOVER, [illegible] Kjöbenhavn 18[illegible]. p. 111.

Platz lassen sollte. Dafs eine solche Flüssigkeit in der normalen Linsenkapsel nicht existirt, ist schon erwähnt worden.

5) Ansichten, welche eine Formveränderung der Linse annehmen. Diese Annahme, welche sich endlich als die richtige erwiesen hat, wurde ebenfalls schon sehr früh gemacht und von Vielen vertheidigt, ohne dafs sie aber das Stattfinden einer solchen Veränderung durch wirkliche Beobachtungen hätten erweisen können. Der erste war DESCARTES[1], es folgten PEMBERTON[2], CAMPER[3], HUNTER[4], TH. YOUNG[5], PURKINJE[6], GRAEFE[7], TH. SMITH[8], HUECK[9], STELLWAG VON CARION[10], FORBES[11]. Ältere Anatomen, wie LEEUWENHOEK, PEMBERTON, nannten die Linse deshalb auch wohl *Musculus crystallinus*, weil sie voraussetzten, dafs ihre Fasern contractil seien. TH. YOUNG stützte diese Ansicht auf Versuche, welche nicht jedem Auge gelingen, für ihn selbst aber vollständig beweisend waren. Wenn man durch ein feines Gitter von geraden Drähten das Zerstreuungsbild eines Lichtpunktes betrachtet, ist das Bild von geraden dunklen Linien, Schattenbildern der Drähte, durchzogen. Diese waren vollständig gerade, wenn YOUNG's Auge für die Ferne accommodirt war, an den Seiten des Zerstreuungskreises dagegen nach aufsen convex, wenn er in die Nähe sah. Die Erscheinung blieb dieselbe, wenn er das Auge unter Wasser brachte, und so den Einflufs der Hornhaut eliminirte. Die Krümmung der vorher geraden Schattenlinien konnte nur durch eine veränderte Krümmung der Linsenflächen bedingt sein. Zur Ausführung des Versuchs gehört eine weite Pupille. WOLLASTON konnte die Erscheinung nicht sehen (auch Referent nicht), wohl aber ein anderer Freund YOUNG's, KOENIG. Dem entsprechend fand YOUNG mittelst seines Optometers, dafs beim Sehen durch vier neben einander liegende Spalten die vier Bilder des Fadens sich in einem Punkte schnitten, wenn er für die Ferne, aber nicht, wenn er für die Nähe accommodirte.

Die Veränderung der Linsenreflexe bei Accommodationsänderungen beobachtete zuerst MAX LANGENBECK[12], und schlofs auch richtig daraus, dafs die vordere Linsenfläche beim Nahesehen gewölbter wird. Seine Beobachtungsweise ist aber ungünstig, indem er den Beobachteten direct in die Flamme blicken liefs, wobei die drei Spiegelbildchen dem Beobachter sehr nahe an einander zu stehen scheinen, und das überwiegend helle Hornhautbild die Wahrnehmung der beiden anderen erschwert. Dies mag der Grund sein, weshalb LANGENBECK's Beobachtung die Aufmerksamkeit der Physiologen nicht erregte. CRAMER beobachtete dasselbe, verbesserte aber die Methode der Beobachtung namentlich dadurch, dafs er die Lichtstrahlen von der Seite her in das Auge fallen und den Beobachter von der anderen Seite hereinblicken liefs. Auch beschrieb er ein Instrument, welches er Ophthalmoskop nannte, um die Beobachtungen leichter und sicherer zu
122 machen. Es ist dies im Wesentlichen ein Gestell, an welchem eine Lampe, ein Fadenkreuz als Gesichtszeichen, ein Mikroskop von ungefähr 10 bis 20maliger Vergröfserung und ein hohles kegelförmiges Stück mit den nöthigen Ausschnitten, an welches der Beobachtete sein Auge fest anlegt, angebracht sind. Der Beobachter stellt die Flamme so, dafs er durch das Mikroskop in der Pupille des beobachteten Auges den Reflex der mittleren Linsenfläche zwischen den beiden anderen Reflexen erscheinen sieht. Indessen ist die wesentlichste Thatsache, die Verkleinerung des von der vorderen Linsenfläche entworfenen Bildes, auf diese Weise nicht so bequem zu beobachten, als wenn man das

---

[1] R. CARTESIUS, *Dioptrice.* Lugd. Bat. 1637.
[2] PEMBERTON, *Dissert. de facultate oculi, qua ad diversas distantias se accommodat.* Lugd. Bat. 1719.
[3] P. CAMPER, *Dissert. physiol. de quibusdam oculi partibus.* Lugd. Bat. 1746. p. 23.
[4] J. HUNTER, *Philosoph. Transact.* 1794. p. 21.
[5] TH. YOUNG, *Philosoph. Transact.* 1801. P. I. p. 53.
[6] J. E. PURKINJE, *Beobachtungen u. Versuche zur Physiol. d. Sinne.* Berlin 1825.
[7] K. F. v. GRAEFE, *Reil's Archiv für Physiologie.* Bd. IX. S. 231.
[8] TH. SMITH, *Philosophical Magazine.* 1833. T. V. 3. No. 13. — *Schmidt's Jahrbücher.* 1834. Bd. I. S.
[9] A. HUECK, *Bewegung der Krystallinse.* Leipzig 1841.
[10] STELLWAG VON CARION, *Zeitschrift der k. k. Gesellschaft der Ärzte zu Wien.* 1850. Heft 3 u. 4.
[11] FORBES, *Comptes rendus.* XX. p. 61.
[12] MAX LANGENBECK, *Klinische Beiträge.* Göttingen 1849.

123 der Kolk[1], Arnold[2], Serre[3], Bonnet[4], Henle[5], Szokalsky[6], Listing[7]. Dafs di Augenmuskeln nicht nur die Form des Augapfels ändern können, sondern auch mittelba die Hornhaut gewölbter machen und die Linse nach vorn verschieben, nimmt Clave an. Die Gründe, aus denen eine solche Gestaltänderung des Augapfels unwahrscheinlic erscheint, habe ich schon oben angeführt.

Die angeführten Ansichten sind die wichtigeren, welche über diesen schwierige Gegenstand aufgestellt worden sind: daneben wurden von Einzelnen noch mancherle andere Erklärungsweisen hervorgesucht, welche sich mit Recht geringeren Beifalls z erfreuen hatten. Ich erwähne v. Grimm[9], welcher annahm, das Brechungsvermöge der Augenmedien könnte sich ändern; Weller[10], welcher die Accommodation nich durch eine Veränderung des Auges, sondern durch einen psychischen Prozefs erkläre wollte u. s. w.

125
## § 13. Von der Farbenzerstreuung im Auge.

Dafs die Lichtstrahlen, welche von einem gesehenen leuchtenden Punkte ausgegangen sind, durch die brechenden Mittel des Auges wieder in eine Punkt vereinigt werden, ist nur annähernd richtig. Wir wenden uns jetz zum Studium der Abweichnngen von dem genannten Gesetze, und wolle zunächst die chromatische Abweichung betrachten, welche daher ent steht, dafs die Lichtstrahlen von verschiedener Schwingungsdauer auch ver schiedene Brechbarkeit in tropfbaren und festen durchsichtigen Mitte haben. Da die Gröfse der Brennweiten gekrümmter brechender Fläche von dem Brechungsverhältnisse abhängig ist, so liegen die Vereinigungs punkte von Strahlen verschiedener Farbe bei Systemen solcher Flächen i Allgemeinen an verschiedenen Orten, und nur durch besondere Combinatione verschiedenartiger brechender Mittel läfst es sich erreichen, dafs die Brenn punkte verschiedenfarbiger Strahlen in optischen Apparaten zusammenfalle so dafs diese dadurch achromatisch werden.

Das Auge ist nicht achromatisch, obgleich beim gewöhnlichen Sehen di Farbenzerstreuung sich fast gar nicht merklich macht. Dafs der brechend Apparat des Auges verschiedene Brennweiten für verschiedenfarbige einfach Strahlen habe, zeigte Frauenhofer folgendermafsen. Er beobachtete ei prismatisches Spectrum durch ein achromatisches Fernrohr, in dessen Ocular ein sehr feines Fadenkreuz angebracht war, und bemerkte, dafs er di Ocularlinse dem Fadenkreuze näher schieben mufste, um dies deutlich sehe
126 zu können, wenn er den violetten Theil des Spectrum im Gesichtsfelde hatte als wenn er den rothen betrachtete. Indem er mit einem Auge eine

---

[1] Luchtmans *Diss. de mutatione axis oculi.* Traject. ad Rhenum 1832.
[2] Arnold, *Untersuchungen über das Auge des Menschen.* Heidelberg 1832. S. 38.
[3] Serre, *Bulletin de thérapie.* 1835. T. 8. L. 4.
[4] Bonnet, *Froriep's Notizen.* 1841. S. 233.
[5] J. Henle, *Canstatt's Jahresbericht* für 1849. Bd. I. S. 71.
[6] Szokalsky, *Archiv für physiologische Heilkunde.* VII. 1849. 7.—8. Heft.
[7] J. Listing, *Wagner's Handwörterbuch d. Physiologie.* IV. 498.
[8] Clavel, *Comptes rendus.* XXXIII. p. 259.
[9] v. Grimm, *Dissert. de visu.* Gottingae 1758.* S. auch H. W. M. Olbers *de oculi mutationibus in nis.* p. 19.
[10] Weber, *Diätetik für gesunde und schwache Augen.* Berlin 1821. S. 225.

ist 5,1248 Millimeter. Daraus ergeben sich die Brennweiten im Inn
des Auges:

im Roth 20,574 mm
im Violett 20,140 mm.

Ist das Auge im Roth für unendliche Ferne accommodirt, steht also
Netzhaut im Brennpunkte der rothen Strahlen, so liegt der Brennpunkt
violetten 0,434 mm vor ihr, woraus folgt, dafs in violettem Lichte die
Auge für eine Entfernung von 713 mm (26 Zoll) accommodirt sein wü
FRAUENHOFER fand für sein eigenes Auge 18 bis 24 Zoll, woraus folgt,
die Farbenzerstreuung in einem aus destillirtem Wasser gebildeten A
selbst noch etwas geringer sein würde, als sie im menschlichen Auge
findet. Nimmt man dagegen an, dafs das reducirte Auge wie meines
Roth für 8 Fufs (2,6 m) accommodirt sei, so würde die Netzhaut
0,123 mm hinter dem Brennpunkte der rothen Strahlen liegen müssen,
im Violett das Auge für 20¾ Zoll (560 mm) accommodirt sein, währ
meines in der That für 18 Zoll accommodirt war. Auch MATTHIESSEN[1]
rechnet aus seinen Versuchen den Abstand des rothen und violetten Bre
punktes im menschlichen Auge auf 0,58 bis 0,62 mm, während er in ein
Auge aus destillirtem Wasser nur gleich 0,434 mm ist. MATTHIESSEN
seine Messungen in der Weise angestellt, dafs er den kürzesten Abst
mafs, in welchem eine Glastheilung von rothem oder violettem Lichte
leuchtet deutlich gesehen werden konnte. Alle diese nach verschiede
Methoden ausgeführten Untersuchungen stimmen darin überein, dafs
menschliche Auge in Bezug auf Farbenzerstreuung mit einem Auge
destillirtem Wasser sehr nahe übereinstimmt, wahrscheinlich aber
etwas stärkere Dispersion hat. Wir dürfen danach wohl vermuthen, dafs
Krystallinse ein im Verhältnifs zu ihrem Brechungsvermögen etwas stärke
Zerstreuungsvermögen als reines Wasser hat.

Ich will hier noch die Beschreibung einiger Versuche anreihen,
denen sich die Farbenzerstreuung im Auge merklich macht. Im Allgem
nen sind die hierhergehörigen Erscheinungen viel auffallender, wenn
dabei nicht weifses Licht, sondern Licht braucht, welches aus nur zwei
matischen Farben von möglichst verschiedener Brechbarkeit zusammenges
ist. Am leichtesten erhält man solches Licht, wenn man Sonnenlicht du
die gewöhnlichen violetgefärbten Gläser gehen läfst. Diese Gläser absorbi
die mittleren Strahlen des Spectrum ziemlich vollständig, und lassen
die äufsersten Farben Roth und Violet hindurch. Will man mit Lamp
licht experimentiren, welches wenig blaue und violette Strahlen enthält,
wendet man besser die gewöhnlichen blauen (durch Kobalt gefärbten) Gl
an, welche ebenfalls vom Orange, Gelb und Grün nur wenig, reichlich
gegen das äufserste Roth, das Indigblau und Violet hindurchlassen.

Man mache eine enge Öffnung in einen dunklen Schirm, befestige hin
derselben ein gefärbtes Glas von der erwähnten Art, und stelle ein Li

[1] MATTHIESSEN, Comptes rendus. T. XXIV. p. 874.

vor das Auge den Rand eines undurchsichtigen Blattes schiebt, und dadurc der einen Hälfte der Pupille das Licht abschneidet. Und zwar erscheint di Grenze zwischen einem weiſsen und schwarzen Felde gelb gesäumt, wen man das Blatt von der Seite her vor die Pupille schiebt, wo das schwarz Feld liegt, blau gesäumt dagegen, wenn man es von der Seite des weiſse Feldes her vorschiebt.

Die eben beschriebenen Farbenzerstreuungserscheinungen im mensch lichen Auge erklären sich sehr leicht aus dem Umstande, daſs der hinter Brennpunkt der violetten Strahlen vor dem der rothen liegt.

Es sei *Fig.* 77 *A* der leuchtende Punkt, $b_1$ $b_2$ die vordere Haupteben des Auges, $v$ der Vereinigungspunkt der violetten, $r$ der der rothen Strahle
129 $c$ $c$ die Ebene, in welcher sich die äuſsersten rothen Strahlen des gebroch nen Strahlenkegels $b_1$ $b_2$ $v$ schneiden. Der Anblick der Figur ergiebt sogleic daſs, wenn die Netz haut vor der Eben $c c$ sich befindet, d. h wenn das Auge fü fernere Gegenständ als $A$ accommodir ist, sie am Rand

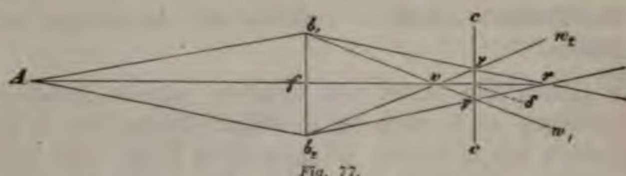


*Fig. 77.*

des Strahlenkegels nur von rothem Lichte, in der Axe aber von gemischten getroffen werde. Steht sie in der Ebene $c c$, ist das Auge also für da Licht mittlerer Brechbarkeit von $A$ accommodirt, so wird sie überall vo gleichmäſsig gemischtem Lichte getroffen. Endlich, wenn die Netzhaut sic hinter der Ebene $c c$ befindet, das Auge also für nähere Gegenstände als A accommodirt ist, so trifft sie am Rande des Strahlenbündels nur violettes, i der Mitte gemischtes Licht.

Ist das Auge für $A$ accommodirt, befindet sich die Netzhaut also i der Ebene $c c$, und wird der untere Theil der Apertur $b_1$ $b_2$, durch welch der Strahlenkegel einfällt, bis $f$ hin verdeckt, so fallen die violetten Strahle zwischen $b_2 v$ und $f v$ sowie deren Verlängerungen zwischen $v w_2$ und $c$ fort, und die rothen zwischen $b_2 r$ und $f r$. Es verschwindet dann also i der Ebene $c c$ oberhalb der Axe das violette, unterhalb der Axe das roth Licht, und es wird sich auf der Retina statt des Bildes des Punktes $A$ ei kleiner oben rother, unten violetter Zerstreuungskreis bilden.

Befindet sich in $A$ statt eines einzelnen leuchtenden Punktes eine gleich mäſsig rothes und violettes Licht aussendende Fläche, deren Bild auf de Retina entworfen wird, so wird gleichzeitig ein rothes und ein violettes Bil der Fläche entworfen werden, von denen mindestens eines ein Zerstreuungs bild sein muſs. Zerstreuungsbilder in Flächen haben, wie in § 11 auseinan dergesetzt ist, in ihrer Mitte, wo die Zerstreuungskreise der Punkte de Randes nicht hinreichen, dieselbe Helligkeit wie ein scharfgesehenes Bild Ihre Ränder sind dagegen verwachsen und flieſsen so weit über das Bil der Umgebung über, als die Zerstreuungskreise der Randpunkte reichen

sich nun ein rothes und ein ... Bild einer Fläche decken, so ...ch in der Mitte, soweit beide die ... Helligkeit haben, die Misch-zeigen, an den Rändern aber diejenigen ... erscheinen, deren ...eungskreise die gröfsten sind, für welche ... des Bildes ...itesten über die Umgebung greift.

...ird das Bild der Fläche in der Ebene $c\,c$ auf... ...violetten Zerstreuungskreise gleich grofs sind, so wird ... Rande gleichmäfsig gemischt sein. Zerstreuungsbilder ... scheinbar, wie wir aus § 11 wissen, wenn man einen ... schiebt, und zwar nach entgegengesetzten Richtungen, wenn ... ...erem Falle das rothe und violette, das eine durch zu nahe, ... zu weite Accommodation entstehen. Daher hört die Congruenz ... Bilder auf und es werden farbige Ränder sichtbar.

...ür das rothe Licht verhält sich die Fläche wie ein Gegenstand, der ...uge zu nahe ist; ein solcher bewegt sich dem die Pupille verdecken-...chirme scheinbar entgegen. Für das violette Licht verhält es sich ...ehrt. Verdeckt man also z. B. von unten her die Pupille, so verschiebt ...ie rothe Fläche scheinbar nach unten, die violette nach oben; unten ...ein rother, oben ein violetter Rand sichtbar. Betrachtet man eine ...e roth-violette Linie durch einen schmalen Spalt, den man vor der ... hin und her bewegt, so gelingt es auch leicht, das rothe von dem ...n Bilde ganz getrennt sichtbar zu machen.

...enn von dem leuchtenden Punkte *A Fig. 77* nicht blos rothes und ... Licht, sondern aus allen Farben zusammengesetztes weifses Licht ... so schaltet sich das der übrigen Farben zwischen dem Roth und ...n und die Wirkungen der Farbenzerstreuung sind weniger auffallend ... zwei Farben allein da sind. Wo wir in diesem Falle einen violetten ... ein purpurnes Feld hatten, erscheint jetzt das weifse Feld gesäumt ...lichem Blau, Indigblau, Violet, und da die weifslichen Töne des ... Randes dieses Saumes sich nicht merklich vom Weifs der Mitte ...heiden, erscheint der farbige Saum überhaupt schmaler. Wo bei dem ... mit den zwei Farben ein rother Saum um das purpurne Feld er-...halten wir jetzt um das weifse Feld herum zuerst weifsliches Gelb, ... Roth, und wieder unterscheidet sich das weifsliche Gelb fast gar ... dem Weifs des Grundes.

...ne besondere Betrachtung verdient die Dispersion des weifsen Lichts ... den Fall, wo die Netzhaut sich in der Ebene $c\,c$ befindet, wo das ...bündel seinen kleinsten Durchmesser hat. Roth und Violet bilden ...eich grofse Zerstreuungskreise. Das mittlere Grün ist ganz in der ...centrirt, die übrigen Farben bilden kleinere Zerstreuungskreise. Der ...ungskreis auf der Retina würde also am Rande gemischt aus Roth ... d. h. purpurroth, in der Mitte grünlich erscheinen müssen. In-...t davon im Auge nichts zu sehen. Es sind nämlich gerade die ...ensten Farben Gelb und Grün bei dieser Stellung der Retina fast

genau in einen Punkt vereinigt, ...
verhältnifsmäfsig zu lichtschw...

... purpurne Rand ist zu schm...
...wahrgenommen zu werden.





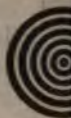


*Fig. 78.* *Fig. 79.* *Fig.* ...

Nach einer Bemerkung von Herrn W. v Bezold[1] sieht man di... kungen der Farbenzerstreuung im Auge aufserordentlich auffallend an ... wie *Fig. 78* und *79* zeigen, wenn man diese aus etwas zu grofser ... nung, oder *Fig. 80* aus zu geringer Entfernnng für die Möglichkeit g... Accommodation betrachtet. Die Erscheinungen vermischen sich übrig... denen des irregulären Astigmatismus, von denen im nächsten Parag... die Rede sein wird. Wenn man aus der Entfernung des Fernpunkts a... weiter abgeht, so werden zunächst die weifsen Streifen röthlich, währ... dunklen von den bläulichen Zerstreuungskreisen übergossen werden. ... kommt eine Entfernung, wo auf den schwarzen Streifen sich die blau... streuungskreise der beiden benachbarten weifsen Streifen decken, u... halb auffallend hell werden. Später beginnt auch das Roth sich auszu... und es kommt eine Entfernung, wo die dunklen Streifen auffallend r... scheinen im Gegensatz zu dem stark verwaschenen bläulichen Weifs... geschieht offenbar dann, wenn die Zerstreuungsbilder des Roth von ... Seiten auf dem Schwarz zusammentreffen, während die des bläuliche... dann schon über dem nächsten weifsen Streifen sich decken, und die... seinem geschwächten Roth wieder weifs machen.

130 Übrigens kann man alle die beschriebenen Erscheinungen ganz ... wie bei dem Auge, nur noch augenfälliger, an einem nicht achroma... Fernrohr wahrnehmen, wenn man eine stärkere Vergröfserung mit de... erzeugt, als mit der Deutlichkeit des Bildes verträglich ist. In einem ... Fernrohre wird das von der Objectivlinse entworfene Bild nicht au... Schirme aufgefangen, wie im Auge auf der Netzhaut, sondern durch ... gröfsernden Ocularlinsen vom Beschauer betrachtet. Eine Vergröfser...

[1] W. v. Bezold, *Graefe's Archiv für Ophthalm.* XIV. (2). S. 1—29. Dort ist auch eine e... Theorie der Erscheinungen gegeben.

)bjectivglase entworfenen Bildes mufs man aber anwenden, weil sonst arbensäume meist zu schmal sind, um deutlich gesehen zu werden. hier sieht man, wenn das Fernrohr für einen entfernteren Gesichtspunkt ichtet ist, weifse Flächen roth und gelb gesäumt; ist es dagegen für näheren eingestellt, blau gesäumt. Bei der Einstellung, welche die sten Bilder giebt, erscheinen sehr schmale purpurne Ränder. Verdeckt ine Hälfte des Objectivs, so erscheinen an gegenüberliegenden Rändern 131 eifsen Flächen blaue und gelbe Ränder u. s. w., ganz wie unter ana- Verhältnissen im Auge.

m die Gröfse der durch Dispersion im Auge erzeugten Zerstreuungskreise zu en, können wir LISTING's reducirtes Auge und darin Wasser als brechende heit zu Grunde legen, da nach FRAUNHOFER's Messungen die farben- nde Kraft eines solchen Auges von der des menschlichen wenig abweichen Es verhält sich (*Fig.* 77)

$$\frac{\gamma\gamma}{b_1 b_2} = \frac{\delta r}{f r} = \frac{\delta v}{f v}, \text{ also ist}$$

$$\gamma\gamma \cdot f r = b_1 b_2 \cdot \delta r$$

$$\gamma\gamma \cdot f v = b_1 b_2 \cdot \delta v. \text{ Beides addirt giebt}$$

$$\gamma\gamma \cdot [f r + f v] = b_1 b_2 \cdot [\delta r + \delta v]$$

$$= b_1 b_2 \cdot [f r - f v]$$

$$\gamma\gamma = b_1 b_2 \cdot \frac{f r - f v}{f r + f v}.$$

ir $b_1 b_2$, entsprechend dem mittleren Durchmesser der Pupille normaler gleich 4 mm. und weiter, wie oben gefunden ist,

$$f r = 20.574 \text{ mm.}$$

$$f v = 20.140 \text{ mm.}$$

$$\text{so wird } \gamma\gamma = 0.0426 \text{ mm.}$$

ach der in § 11 gegebenen Tafel für die Gröfse der Zerstreuungskreise von en für welche das Auge nicht accommodirt ist, würde daher der Durch- $\gamma\gamma$ der durch die Dispersion bedingten Zerstreuungskreise ebenso grofs wie der, den ein leuchtender Punkt 1.5 m ($4^3/_4$ Fufs) Entfernung in einem endliche Entfernung accommodirten Auge giebt. Eine solche Abweichung ccommodation giebt bei der Betrachtung feinerer Gegenstände schon eine merkliche Ungenauigkeit des Bildes, wie man bei Anstellung eines ent- sten Versuches leicht erkennt. Um zu erklären, warum die Dispersion ifsen Lichts im Auge trotz der gleichen Gröfse der Zerstreuungskreise keine che Ungenauigkeit des Bildes hervorbringt, mufs man nicht blos die Gröfse erstreuungskreise, sondern auch die Vertheilung des Lichts in denselben be- chtigen.

Wenn ein Lichtkegel von einem einfarbig leuchtenden Punkte in das Auge und die Netzhaut sich vor oder hinter dem Vereinigungspunkte der Strahlen so wird ein Zerstreuungskreis gebildet, der in allen seinen Theilen gleiche e hat?

Wenn dagegen das Auge von einem Kegel weifsen Lichts getroffen wird, und sich die in der Vereinigungspunkte der grüngelben Strahlen, welche die lichtstärksten sind,

Meinung brachten vor OLBERS[1], DUGÈS[2], HUECK und DONDERS[3]. Eine eigenthümliche Ansicht über den Erfolg der Verengerung der Pupille, die aber durch den schon genannten Versuch ebenfalls widerlegt wird, stellte J. MILE[4] auf, nahm sie aber selbst später wieder zurück[5]. Er glaubte, dafs beim Fernsehen die Randstrahlen des Lichtbündels, welche vor der Netzhaut die Augenaxe schneiden würden, durch Diffraction am Rande der Pupille von der Augenaxe abgelenkt würden, und sie deshalb erst später schnitten. Die Diffraction des Lichts besteht aber keineswegs in einer solchen einfachen Ablenkung der ganzen Strahlen.

3) Ansichten, welche eine veränderte Krümmung der Hornhaut voraussetzen. LOBÉ[6] scheint der Erste gewesen zu sein, der eine Veränderung der Hornhautkrümmung wahrgenommen zu haben meinte. OLBERS[7] wagt nach seinen eigenen Beobachtungen nicht bestimmt zu behaupten, dafs die Convexität beim Nahesehen zunehme. HOME[8], ENGLEFIELD und RAMSDEN dagegen wollten eine Vermehrung der Krümmung bestimmt wahrgenommen haben. Jemand, der ein gutes Accommodationsvermögen besitzt, wurde mit dem Kopf in den Ausschnitt eines festen Brettes befestigt, so dafs sein Kopf möglichst unbeweglich war. An dem Brette, in einem kleinen Abstande vom Auge, war eine Platte mit einer kleinen Öffnung befestigt (als Fixationspunkt), während ebenfalls an dem Brette zur Seite des Auges ein bewegliches Mikroskop angebracht war, durch welches man die vorderste Krümmung der Hornhautfläche wahrnehmen konnte. Das Mikroskop selbst war mit einem Ocularmikrometer versehen. Beim Nahesehen sollte die Hornhaut stärker gekrümmt werden, so dafs ihre Mitte um 1/[illegible] eines
120 englischen Zolles vorrückte. Messung der Spiegelbildchen auf der Hornhaut, welche HOME später ausführte, ergab zweifelhaftere Resultate. Wahrscheinlich ist er in beiden Fällen durch sehr kleine, regelmäfsig eintretende Verschiebungen des Kopfes der beobachteten Person von hinten nach vorn getäuscht worden. TH. YOUNG[9] fand, indem er die Spiegelbilder der Hornhaut der Messung unterwarf, keine solche Unterschiede, und widerlegte namentlich die Hypothese der veränderten Hornhautkrümmung sehr schlagend in der oben beschriebenen Weise dadurch, dafs er die unveränderte Existenz des Accommodationsvermögens nachwies, auch wenn das Auge unter Wasser gebracht ist. HUECK[10] fand bei der Wiederholung von HOME's Versuchen ähnliche Resultate, meint aber ermittelt zu haben, dafs die Athmungsbewegungen regelmäfsige Schwankungen des Kopfes hervorbringen, indem wir beim Nahesehen gewöhnlich einathmen, beim Fernsehen ausathmen. Sobald er den Athem anhalten liefs, traten gar keine oder nur sehr unregelmäfsige Schwankungen der Mitte der Hornhaut ein. Diese unregelmäfsigen Schwankungen schienen durch Contractionen des Schliefsmuskels der Augenlider hervorgebracht zu sein, da bei jeder Berührung der Cilien der Augapfel etwas zurückgedrängt wurde. BUROW[11] fand bei einer sorgfältigen Wiederholung von HOME's Versuchen keine regelmäfsigen Schwankungen der Hornhautfläche; ebenso VALENTIN[12]. SENFF[13] stellte Messungen der Spiegelbildchen mit einem Fernrohr an, wodurch seine Messungen von kleinen Verschiebungen des Auges unabhängig wurden, und fand, dafs der Krümmungshalbmesser der Hornhaut sich nicht um 0,01 Par. Linie veränderte, während das Auge bald auf 4, bald

---

[1] H. W. M. OLBERS, *De oculi mutationibus internis.* Gotting. 1780. p. 13.
[2] DUGÈS, *Institut* 1834. No. 73.
[3] F. C. DONDERS in RUETE, *Leerboek der Ophthalmologie.* 1846. bl. 110.
[4] J. MILE, MAGENDIE, *Journal de Physiologie.* VI. p. 166.
[5] J. MILE, *Poggendorff's Ann.* XLII.
[6] LOBÉ, ALBINUS, *Dissert. de oculo humano.* Lugd. Bat. 1742. p. 119.
[7] H. W. M. OLBERS, *De oculi mutat. int.* p. 39.
[8] E. HOME, *Philosoph. Transact.* 1795. p. 13 u. 1796. p. 2.
[9] TH. YOUNG, *Philosoph. Transact.* 1801. I. p. 55.
[10] A. HUECK, *Die Bewegung der Krystallinse.* S. 40.
[11] BUROW, *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschl. Auges.* Berlin 1842. S. 115.
[12] G. G. VALENTIN, *Lehrbuch der Physiologie.* 1848. Bd. II. S. 122.
[13] SENFF, Art. „Sehen“ in R. WAGNER's *Handwörterbuch der Physiologie.* S. 303.

Platz lassen sollte. Dafs eine solche Flüssigkeit in der normalen Linsenkapsel nich existirt, ist schon erwähnt worden.

5) Ansichten, welche eine Formveränderung der Linse annehme Diese Annahme, welche sich endlich als die richtige erwiesen hat, wurde ebenfalls sch sehr früh gemacht und von Vielen vertheidigt, ohne dafs sie aber das Stattfinden ein solchen Veränderung durch wirkliche Beobachtungen hätten erweisen können. Der ers war DESCARTES[1], es folgten PEMBERTON[2], CAMPER[3], HUNTER[4], TH. YOUNG[5], PURKINJE GRAEFE[7], TH. SMITH[8], HUECK[9], STELLWAG VON CARION[10], FORBES[11]. Ältere Anatome wie LEEUWENHOEK, PEMBERTON, nannten die Linse deshalb auch wohl *Musculus cry stallinus*, weil sie voraussetzten, dafs ihre Fasern contractil seien. TH. YOUNG stütz diese Ansicht auf Versuche, welche nicht jedem Auge gelingen, für ihn selbst aber vol ständig beweisend waren. Wenn man durch ein feines Gitter von geraden Drähten d Zerstreuungsbild eines Lichtpunktes betrachtet, ist das Bild von geraden dunklen Linie Schattenbildern der Drähte, durchzogen. Diese waren vollständig gerade, wenn YOUNG Auge für die Ferne accommodirt war, an den Seiten des Zerstreuungskreises dageg nach aufsen convex, wenn er in die Nähe sah. Die Erscheinung blieb dieselbe, wenn das Auge unter Wasser brachte, und so den Einflufs der Hornhaut eliminirte. D Krümmung der vorher geraden Schattenlinien konnte nur durch eine veränderte Krü mung der Linsenflächen bedingt sein. Zur Ausführung des Versuchs gehört eine wei Pupille. WOLLASTON konnte die Erscheinung nicht sehen (auch Referent nicht), wo aber ein anderer Freund YOUNG's, KOENIG. Dem entsprechend fand YOUNG mittel seines Optometers, dafs beim Sehen durch vier neben einander liegende Spalten die vie Bilder des Fadens sich in einem Punkte schnitten, wenn er für die Ferne, aber nich wenn er für die Nähe accommodirte.

Die Veränderung der Linsenreflexe bei Accommodationsänderungen beobachte zuerst MAX LANGENBECK[12], und schlofs auch richtig daraus, dafs die vordere Linsenfläch beim Nahesehen gewölbter wird. Seine Beobachtungsweise ist aber ungünstig, indem e den Beobachteten direct in die Flamme blicken liefs, wobei die drei Spiegelbildchen de Beobachter sehr nahe an einander zu stehen scheinen, und das überwiegend helle Hor hautbild die Wahrnehmung der beiden anderen erschwert. Dies mag der Grund sei weshalb LANGENBECK's Beobachtung die Aufmerksamkeit der Physiologen nicht erregt CRAMER beobachtete dasselbe, verbesserte aber die Methode der Beobachtung namentlic dadurch, dafs er die Lichtstrahlen von der Seite her in das Auge fallen und de Beobachter von der anderen Seite hereinblicken liefs. Auch beschrieb er ein Instrumen welches er Ophthalmoskop nannte, um die Beobachtungen leichter und sicherer z
122 machen. Es ist dies im Wesentlichen ein Gestell, an welchem eine Lampe, ein Fade kreuz als Gesichtszeichen, ein Mikroskop von ungefähr 10 bis 20maliger Vergröfserun und ein hohles kegelförmiges Stück mit den nöthigen Ausschnitten, an welches de Beobachtete sein Auge fest anlegt, angebracht sind. Der Beobachter stellt die Flamm so, dafs er durch das Mikroskop in der Pupille des beobachteten Auges den Reflex de mittleren Linsenfläche zwischen den beiden anderen Reflexen erscheinen sieht. Indesse ist die wesentlichste Thatsache, die Verkleinerung des von der vorderen Linsenfläch entworfenen Bildes, auf diese Weise nicht so bequem zu beobachten, als wenn man di

[1] R. CARTESIUS, *Dioptrice.* Lugd. Bat. 1637.
[2] PEMBERTON, *Dissert. de facultate oculi, qua ad diversas distantias se accommodat.* Lugd. Bat. 1719.
[3] P. CAMPER, *Dissert. physiol. de quibusdam oculi partibus.* Lugd. Bat. 1746. p. 23.
[4] J. HUNTER, *Philosoph. Transact.* 1794. p. 21.
[5] TH. YOUNG, *Philosoph. Transact.* 1801. P. I. p. 53.
[6] J. E. PURKINJE, *Beobachtungen u. Versuche zur Physiol. d. Sinne.* Berlin 1825.
[7] K. F. v. GRAEFE, *Reil's Archiv für Physiologie.* Bd. IX. S. 231.
[8] TH. SMITH, *Philosophical Magazine.* 1833. T. V. 3. No. 13. — *Schmidt's Jahrbücher.* 1834. Bd. I. S.
[9] A. HUECK, *Bewegung der Krystallinse.* Leipzig 1841.
[10] STELLWAG VON CARION, *Zeitschrift der k. k. Gesellschaft der Ärzte zu Wien.* 1850. Heft 3 u. 4.
[11] FORBES, *Comptes rendus.* XX. p. 61.
[12] MAX LANGENBECK, *Klinische Beiträge.* Göttingen 1849.

[illegible]bild von zwei leuchtenden Punkten mit bloſsem Auge beobachtet, wie ich es [illegible] beschrieben habe. Die Verschiebung des Reflexes der vorderen Linsenfläche da[illegible], welche durch CRAMER's Ophthalmoskop leicht und sicher zu beobachten ist, ist [illegible] der von CRAMER noch nicht gekannten Asymmetrie des Auges für sich allein [illegible] beweisend, wenn man sich nicht, was leicht auszuführen ist, durch eine Reihe von [illegible] überzeugt, daſs von jeder Stelle der Pupille aus das genannte Bild sich stets [illegible] der Pupille nähert.

Ohne von den beiden genannten Forschern zu wissen, und zu einer Zeit, wo [illegible] Entdeckung erst durch kurze Notizen[1], die er selbst und DONDERS gegeben [illegible] veröffentlicht war, ehe noch seine von der Holländischen Gesellschaft der Wissen[illegible] gekrönte Abhandlung erschienen war, fand ich selbst dieselbe Thatsache[2], und [illegible] weiter dasjenige, was ich oben über das Verhalten der hinteren Fläche der [illegible] bei der Accommodation angeführt habe[3].

Gegen die Abhängigkeit des Accommodationsvermögens von Verschiebungen und [illegible] der Linse wurden vielfach Fälle geltend gemacht, in denen das Auge [illegible] noch sollte accommodiren können, nachdem die Linse durch die Staaroperation ent[illegible] war. Indessen ist dabei zu bedenken, daſs eine Regeneration der Linse möglich [illegible] und daſs die Kranken auch bei unpassender Accommodation aus Zerstreuungsbildern [illegible] erkennen können. Daſs Jemand, der mit der Staarbrille Druckschrift liest, [illegible] derselben Brille auch ferne Menschen, Fensterkreuze und dergleichen erkennen kann, [illegible] noch nicht, ihm Accommodationsvermögen zuzuschreiben. Ein Jeder kann [illegible] leicht überzeugen, daſs, wenn er einen Finger in etwa 4 Fuſs Entfernung fixirt, er [illegible] doch eine Menge Einzelheiten an weit entfernten Gegenständen wahrnehmen [illegible] Zum Beweis des Vorhandenseins von Accommodation gehört, daſs der Kranke [illegible] derselben Brille einen Gegenstand in bestimmter Entfernung willkürlich deutlich und [illegible] sehen kann, je nachdem er sein Auge für dieselbe oder eine andere Entfernung [illegible] strebt. SZOKALSKY will einen solchen Fall wirklich beobachtet haben; aber [illegible] betreffende Auge konnte ohne Staarbrille in 17 Zoll Entfernung deutlich sehen, was [illegible] Ersatz der Linse nicht möglich ist. Um bei operirten Augen während des Lebens [illegible], ob die Linse hergestellt sei, schlägt DONDERS vor die entoptischen Erschei[illegible] zu benutzen.

6. Ansichten, welche eine Formveränderung des Augapfels anneh[illegible]. Wenn die Netzhaut sich von den brechenden Flächen entfernen, der Augapfel [illegible] verlängern könnte, würde das Auge sich dadurch für die Nähe accommodiren. [illegible] Anhänger dieser Ansicht nahmen meistentheils an, daſs die Augenmuskeln, entweder [illegible] allein, oder die schiefen allein, oder alle zusammen, oder auch der Schlieſs[illegible] der Augenlider, durch Druck auf den Augapfel dessen Gestalt verändern könnten. [illegible] gehören STURM[4], LE MOINE[5], BUFFON[6], BOERHAVE[7], MOLINETTI[8], OLBERS[9], HAESE[illegible], WALTHER[11], MONRO[12], HIMLY[13], MECKEL[14], PARROT[15], POPPE[16], SCHROEDER VAN

1 CRAMER, *Tijdschrift der Maatschappij voor Geneeskunde*, 1851. W. II. bl. 115 und *Nederlandsch Lancet*. [illegible] W [illegible] bl. [illegible] 1851 52.
2 HELMHOLTZ, *Monatsberichte der Berliner Akad.* 1853. Februar S. 137.
3 HELMHOLTZ, *Graefe's Archiv für Ophthalmologie* Bd. 1. (2) S. 1–74.
4 [illegible] STURM, *Dissert. de presbyopia et myopia*. Altdorfii 1697.
5 [illegible] MOINE, *Quaestio an [illegible] retinam a crystallino removeant*. Parisiis 171[illegible]
6 [illegible] BUFFON, *Histoire naturelle*. Paris 1739. T. III p. 331.
7 [illegible] BOERHAVE, *Praelectiones academ.* Taurini 1755. Vol. III. p. 121.
8 [illegible] HALLER, *Elementa Physiologiae*, 1763. T. V. p. 511.
9 W. M. OLBERS, *Dissert. de oculi mutat. int.* Gottingae 1780 § 43.
10 [illegible] HAESELER, *Betrachtungen über das menschliche Auge*.
11 WALTHER, *Dissert. de lente crystallina*. § 1.
12 MONRO, [illegible] *Annalen* f. d. J. 1801. S. 97.
13 HIMLY, *Ophthalmologische Beobachtungen und Untersuchungen*. Bremen 1801.
14 [illegible] *Vorlesungen über vergl. Anat.* Übers. von MECKEL. Leipzig 1809. Bd. II S. [illegible]
15 [illegible] PARROT, *Entretiens sur la physique*. Dorpat 1820. T. III p. [illegible]
16 [illegible] M. POPPE, *Die ganze Lehre vom Sehen*. Tübingen 1823. S. [illegible]

123 DER KOLK[1], ARNOLD[2], SERRE[3], BONNET[4], HENLE[5], SZOKALSKY[6], LISTING[7]. Daſs
Augenmuskeln nicht nur die Form des Augapfels ändern können, sondern auch mitt
die Hornhaut gewölbter machen und die Linse nach vorn verschieben, nimmt CLA
an. Die Gründe, aus denen eine solche Gestaltänderung des Augapfels unwahrschei
erscheint, habe ich schon oben angeführt.

Die angeführten Ansichten sind die wichtigeren, welche über diesen schwie
Gegenstand aufgestellt worden sind: daneben wurden von Einzelnen noch manch
andere Erklärungsweisen hervorgesucht, welche sich mit Recht geringeren Beifall
erfreuen hatten. Ich erwähne v. GRIMM[9], welcher annahm, das Brechungsverm
der Augenmedien könnte sich ändern; WELLER[10], welcher die Accommodation
durch eine Veränderung des Auges, sondern durch einen psychischen Prozeſs erk
wollte u. s. w.

## 125 § 13. Von der Farbenzerstreuung im Auge.

Daſs die Lichtstrahlen, welche von einem gesehenen leuchtenden Pu
ausgegangen sind, durch die brechenden Mittel des Auges wieder in e
Punkt vereinigt werden, ist nur annähernd richtig. Wir wenden uns j
zum Studium der Abweichnngen von dem genannten Gesetze, und wo
zunächst die chromatische Abweichung betrachten, welche daher
steht, daſs die Lichtstrahlen von verschiedener Schwingungsdauer auch
schiedene Brechbarkeit in tropfbaren und festen durchsichtigen Mit
haben. Da die Gröſse der Brennweiten gekrümmter brechender Fläc
von dem Brechungsverhältnisse abhängig ist, so liegen die Vereinigu
punkte von Strahlen verschiedener Farbe bei Systemen solcher Flächen
Allgemeinen an verschiedenen Orten, und nur durch besondere Combinati
verschiedenartiger brechender Mittel läſst es sich erreichen, daſs die Br
punkte verschiedenfarbiger Strahlen in optischen Apparaten zusammenfal
so daſs diese dadurch achromatisch werden.

Das Auge ist nicht achromatisch, obgleich beim gewöhnlichen Sehen
Farbenzerstreuung sich fast gar nicht merklich macht. Daſs der brech
Apparat des Auges verschiedene Brennweiten für verschiedenfarbige einf
Strahlen habe, zeigte FRAUENHOFER folgendermaſsen. Er beobachtete
prismatisches Spectrum durch ein achromatisches Fernrohr, in dessen Oc
ein sehr feines Fadenkreuz angebracht war, und bemerkte, daſs er
Ocularlinse dem Fadenkreuze näher schieben muſste, um dies deutlich s
126 zu können, wenn er den violetten Theil des Spectrum im Gesichtsfelde h
als wenn er den rothen betrachtete. Indem er mit einem Auge

---

[1] LUCHTMANS *Diss. de mutatione axis oculi.* Traject. ad Rhenum 1832.
[2] ARNOLD, *Untersuchungen über das Auge des Menschen.* Heidelberg 1832. S. 38.
[3] SERRE, *Bulletin de thérapie.* 1835. T. 8. L. 4.
[4] BONNET, *Froriep's Notizen.* 1841. S. 233.
[5] J. HENLE, *Canstatt's Jahresbericht* für 1849. Bd. I. S. 71.
[6] SZOKALSKY, *Archiv für physiologische Heilkunde.* VII. 1849. 7.—8. Heft.
[7] J. LISTING, *Wagner's Handwörterbuch d. Physiologie.* IV. 498.
[8] CLAVEL, *Comptes rendus.* XXXIII. p. 259.
[9] V. GRIMM, *Dissert. de visu.* Gottingae 1758.' S. auch H. W. M. OLBERS *de oculi mutationibu nis.* p. 19.
[10] WEBER, *Diätetik für gesunde und schwache Augen.* Berlin 1821. S. 225.

ist 5,1248 Millimeter. Daraus ergeben sich die Brennweiten im Innern des Auges:

im Roth 20,574 mm
im Violett 20,140 mm.

127 Ist das Auge im Roth für unendliche Ferne accommodirt, steht also die Netzhaut im Brennpunkte der rothen Strahlen, so liegt der Brennpunkt der violetten 0,434 mm vor ihr, woraus folgt, dafs in violettem Lichte dieses Auge für eine Entfernung von 713 mm (26 Zoll) accommodirt sein würde. FRAUENHOFER fand für sein eigenes Auge 18 bis 24 Zoll, woraus folgt, dafs die Farbenzerstreuung in einem aus destillirtem Wasser gebildeten Auge selbst noch etwas geringer sein würde, als sie im menschlichen Auge sich findet. Nimmt man dagegen an, dafs das reducirte Auge wie meines im Roth für 8 Fufs (2,6 m) accommodirt sei, so würde die Netzhaut noch 0,123 mm hinter dem Brennpunkte der rothen Strahlen liegen müssen, und im Violett das Auge für $20^3/_4$ Zoll (560 mm) accommodirt sein, während meines in der That für 18 Zoll accommodirt war. Auch MATTHIESSEN[1] berechnet aus seinen Versuchen den Abstand des rothen und violetten Brennpunktes im menschlichen Auge auf 0,58 bis 0,62 mm, während er in einem Auge aus destillirtem Wasser nur gleich 0,434 mm ist. MATTHIESSEN hat seine Messungen in der Weise angestellt, dafs er den kürzesten Abstand mafs, in welchem eine Glastheilung von rothem oder violettem Lichte beleuchtet deutlich gesehen werden konnte. Alle diese nach verschiedenen Methoden ausgeführten Untersuchungen stimmen darin überein, dafs das menschliche Auge in Bezug auf Farbenzerstreuung mit einem Auge aus destillirtem Wasser sehr nahe übereinstimmt, wahrscheinlich aber eine etwas stärkere Dispersion hat. Wir dürfen danach wohl vermuthen, dafs die Krystallinse ein im Verhältnifs zu ihrem Brechungsvermögen etwas stärkeres Zerstreuungsvermögen als reines Wasser hat.

Ich will hier noch die Beschreibung einiger Versuche anreihen, bei denen sich die Farbenzerstreuung im Auge merklich macht. Im Allgemeinen sind die hierhergehörigen Erscheinungen viel auffallender, wenn man dabei nicht weifses Licht, sondern Licht braucht, welches aus nur zwei prismatischen Farben von möglichst verschiedener Brechbarkeit zusammengesetzt ist. Am leichtesten erhält man solches Licht, wenn man Sonnenlicht durch die gewöhnlichen violetgefärbten Gläser gehen läfst. Diese Gläser absorbiren die mittleren Strahlen des Spectrum ziemlich vollständig, und lassen nur die äufsersten Farben Roth und Violet hindurch. Will man mit Lampenlicht experimentiren, welches wenig blaue und violette Strahlen enthält, so wendet man besser die gewöhnlichen blauen (durch Kobalt gefärbten) Gläser an, welche ebenfalls vom Orange, Gelb und Grün nur wenig, reichlich dagegen das äufserste Roth, das Indigblau und Violet hindurchlassen.

Man mache eine enge Öffnung in einen dunklen Schirm, befestige hinter derselben ein gefärbtes Glas von der erwähnten Art, und stelle ein Licht

[1] L. MATTHIESSEN, *Comptes rendus.* T. XXIV. p. 874.

r. dessen Strahlen durch das Glas und die Öffnung in das Auge des
hters fallen. Die Öffnung im Schirme können wir unter diesen Um-
als einen leuchtenden Punkt, der rothe und violette Strahlen aus-
betrachten. Dem Beobachter erscheint dieser Punkt in verschiedener
je nach der Entfernung, für welche sein Auge accommodirt ist. Ist
die rothen Strahlen accommodirt, so geben die violetten einen Zer-
gskreis, und es erscheint ein rother Punkt mit violettem Lichthofe; 128
s Auge ist für die violetten Strahlen accommodirt, dann geben die
einen Zerstreuungskreis, und es erscheint ein violetter Punkt mit
Hofe. Auch ist ein Refractionszustand des Auges möglich, wobei
reinigungspunkt der violetten Strahlen vor, der der rothen hinter der
ut liegt, und beide gleich grofse Zerstreuungskreise geben. Nur in
Falle erscheint der Lichtpunkt einfarbig. Bei diesem Refractions-
de des Auges würden diejenigen einfachen Strahlen auf der Netzhaut
gt werden, deren Brechbarkeit die Mitte zwischen der der rothen und
en hält, also die grünen.

eshalb geben diese Gläser ein Mittel von ziemlich grofser Empfind-
t ab, um die Entfernungen zu bestimmen, innerhalb welcher das Auge
r die mittleren Strahlen des Spectrum accommodiren kann. Das sind
h die Entfernungen, innerhalb welcher das Auge das gemischte roth-
e Licht einfarbig sehen kann. Die Farbendifferenz der Ränder wird
richt bemerkt, auch von einem Ungeübten, viel leichter als die Un-
gkeit eines weifsen Bildes. Ist das Auge für Licht jeder Brechbarkeit
ifsere Entfernungen als die des leuchtenden Punktes accommodirt, so
die rothen Strahlen einen gröfseren Zerstreuungskreis als die violet-
s erscheint also eine violette Scheibe mit rothem Saum. Ist das
für beide Farben auf kleinere Entfernungen als die des leuchtenden
s eingestellt, so erscheint umgekehrt ein rother Zerstreuungskreis mit
n Saume.

hnliche Erscheinungen wie die der roth-violetten Gläser treten überall
ein Gegenstand zweierlei Arten verschiedenfarbigen Lichts von sehr
hiedener Brechbarkeit aussendet. Sehr auffallend zeigen sie sich zum
el auch bei den Versuchen über Mischung von Spectralfarben, welche
ter bei der Lehre von der Farbenmischung beschreiben werde.

ei weifser Beleuchtung tritt natürlich ebenfalls eine Zerlegung des
mengesetzten einfachen Lichts ein, aber sie ist unter gewöhnlichen
nden wenig merklich. Die Beobachtung lehrt in dieser Beziehung,
eifse Flächen, welche weiter entfernt als der Accommodationspunkt
es liegen, mit einem schwachen blauen Rande umgeben erscheinen,
Flächen, welche näher als der Accommodationspunkt liegen, mit
schwachen rothgelben Rande, weifse Flächen dagegen, für welche das
genau accommodirt ist, lassen keine farbigen Ränder sehen, so lange
pille vollständig frei ist, zeigen aber solche Ränder, sobald man dicht

vor das Auge den Rand eines undurchsichtigen Blattes schiebt, und dadurc der einen Hälfte der Pupille das Licht abschneidet. Und zwar erscheint di Grenze zwischen einem weifsen und schwarzen Felde gelb gesäumt, wen man das Blatt von der Seite her vor die Pupille schiebt, wo das schwarz Feld liegt, blau gesäumt dagegen, wenn man es von der Seite des weifse Feldes her vorschiebt.

Die eben beschriebenen Farbenzerstreuungserscheinungen im mensch lichen Auge erklären sich sehr leicht aus dem Umstande, dafs der hinter Brennpunkt der violetten Strahlen vor dem der rothen liegt.

Es sei *Fig. 77* $A$ der leuchtende Punkt, $b_1$ $b_2$ die vordere Hauptebene des Auges, $v$ der Vereinigungspunkt der violetten, $r$ der der rothen Strahlen,
129 $c$ $c$ die Ebene, in welcher sich die äufsersten rothen Strahlen des gebroche nen Strahlenkegels $b_1$ $b_2$ $v$ schneiden. Der Anblick der Figur ergiebt sogleich, dafs, wenn die Netzhaut vor der Ebene $c\,c$ sich befindet, d. h. wenn das Auge für fernere Gegenstände als $A$ accommodirt ist, sie am Rande des Strahlenkegels nur von rothem Lichte, in der Axe aber von gemischtem getroffen werde. Steht sie in der Ebene $c\,c$, ist das Auge also für das Licht mittlerer Brechbarkeit von $A$ accommodirt, so wird sie überall von gleichmäfsig gemischtem Lichte getroffen. Endlich, wenn die Netzhaut sich hinter der Ebene $c\,c$ befindet, das Auge also für nähere Gegenstände als $A$ accommodirt ist, so trifft sie am Rande des Strahlenbündels nur violettes, in der Mitte gemischtes Licht.

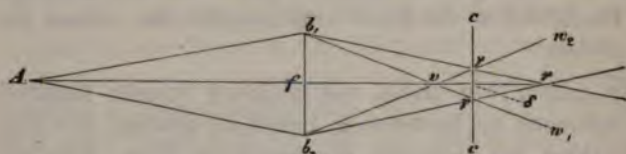


Fig. 77.

Ist das Auge für $A$ accommodirt, befindet sich die Netzhaut also in der Ebene $c\,c$, und wird der untere Theil der Apertur $b_1$ $b_2$, durch welche der Strahlenkegel einfällt, bis $f$ hin verdeckt, so fallen die violetten Strahlen zwischen $b_2\,v$ und $f\,v$ sowie deren Verlängerungen zwischen $v\,w_2$ und $v$ fort, und die rothen zwischen $b_2\,r$ und $f\,r$. Es verschwindet dann also in der Ebene $c\,c$ oberhalb der Axe das violette, unterhalb der Axe das rothe Licht, und es wird sich auf der Retina statt des Bildes des Punktes $A$ ein kleiner oben rother, unten violetter Zerstreuungskreis bilden.

Befindet sich in $A$ statt eines einzelnen leuchtenden Punktes eine gleich mäfsig rothes und violettes Licht aussendende Fläche, deren Bild auf der Retina entworfen wird, so wird gleichzeitig ein rothes und ein violettes Bild der Fläche entworfen werden, von denen mindestens eines ein Zerstreuungs bild sein mufs. Zerstreuungsbilder in Flächen haben, wie in § 11 auseinan dergesetzt ist, in ihrer Mitte, wo die Zerstreuungskreise der Punkte des Randes nicht hinreichen, dieselbe Helligkeit wie ein scharfgesehenes Bild. Ihre Ränder sind dagegen verwachsen und fliefsen so weit über das Bild der Umgebung über, als die Zerstreuungskreise der Randpunkte reichen

sich nun ein rothes und ein violettes Bild einer Fläche decken, so ich in der Mitte, soweit beide die normale Helligkeit haben, die Misch- zeigen, an den Rändern aber diejenige Farbe allein erscheinen, deren uungskreise die gröfsten sind, für welche also der Rand des Bildes itesten über die Umgebung greift.

ird das Bild der Fläche in der Ebene *c c* aufgefangen, wo die rothen letten Zerstreuungskreise gleich grofs sind, so werden die Farben bis ande gleichmäfsig gemischt sein. Zerstreuungsbilder verschieben sich cheinbar, wie wir aus § 11 wissen, wenn man einen Schirm vor die schiebt, und zwar nach entgegengesetzten Richtungen, wenn sie, wie rem Falle das rothe und violette, das eine durch zu nahe, das andere zu weite Accommodation entstehen. Daher hört die Congruenz der n Bilder auf und es werden farbige Ränder sichtbar.

ir das rothe Licht verhält sich die Fläche wie ein Gegenstand, der 130 uge zu nahe ist; ein solcher bewegt sich dem die Pupille verdecken- hirme scheinbar entgegen. Für das violette Licht verhält es sich hrt. Verdeckt man also z. B. von unten her die Pupille, so verschiebt ie rothe Fläche scheinbar nach unten, die violette nach oben; unten in rother, oben ein violetter Rand sichtbar. Betrachtet man eine e roth-violette Linie durch einen schmalen Spalt, den man vor der hin und her bewegt, so gelingt es auch leicht, das rothe von dem n Bilde ganz getrennt sichtbar zu machen.

enn von dem leuchtenden Punkte *A Fig.* 77 nicht blos rothes und s Licht, sondern aus allen Farben zusammengesetztes weifses Licht t so schaltet sich das der übrigen Farben zwischen dem Roth und ein, und die Wirkungen der Farbenzerstreuung sind weniger auffallend n zwei Farben allein da sind. Wo wir in diesem Falle einen violetten um ein purpurnes Feld hatten, erscheint jetzt das weifse Feld gesäumt eifslichem Blau, Indigblau, Violet, und da die weifslichen Töne des n Randes dieses Saumes sich nicht merklich vom Weifs der Mitte heiden, erscheint der farbige Saum überhaupt schmaler. Wo bei dem he mit den zwei Farben ein rother Saum um das purpurne Feld er- halten wir jetzt um das weifse Feld herum zuerst weifsliches Gelb, Roth, und wieder unterscheidet sich das weifsliche Gelb fast gar on dem Weifs des Grundes.

ne besondere Betrachtung verdient die Dispersion des weifsen Lichts r den Fall, wo die Netzhaut sich in der Ebene *c c* befindet, wo das nbündel seinen kleinsten Durchmesser hat. Roth und Violet bilden leich grofse Zerstreuungskreise. Das mittlere Grün ist ganz in der oncentrirt, die übrigen Farben bilden kleinere Zerstreuungskreise. Der uungskreis auf der Retina würde also am Rande gemischt aus Roth olet, d. h. purpurroth, in der Mitte grünlich erscheinen müssen. In- ist davon im Auge nichts zu sehen. Es sind nämlich gerade die rksten Farben Gelb und Grün bei dieser Stellung der Retina fast

genau in einen Punkt vereinigt, und der purpurne Rand ist zu schn
verhältnifsmäfsig zu lichtschwach, um wahrgenommen zu werden.



*Fig. 78.*



*Fig. 79.*



*Fig.*

n Nach einer Bemerkung von Herrn W. v Bezold[1] sieht man d kungen der Farbenzerstreuung im Auge aufserordentlich auffallend an wie *Fig. 78* und *79* zeigen, wenn man diese aus etwas zu grofser nung, oder *Fig. 80* aus zu geringer Entfernung für die Möglichkeit Accommodation betrachtet. Die Erscheinungen vermischen sich übrig denen des irregulären Astigmatismus, von denen im nächsten Para die Rede sein wird. Wenn man aus der Entfernung des Fernpunkts weiter abgeht, so werden zunächst die weifsen Streifen röthlich, währ dunklen von den bläulichen Zerstreuungskreisen übergossen werden. kommt eine Entfernung, wo auf den schwarzen Streifen sich die blau streuungskreise der beiden benachbarten weifsen Streifen decken, u halb auffallend hell werden. Später beginnt auch das Roth sich auszu und es kommt eine Entfernung, wo die dunklen Streifen auffallend r scheinen im Gegensatz zu dem stark verwaschenen bläulichen Weif geschieht offenbar dann, wenn die Zerstreuungsbilder des Roth von Seiten auf dem Schwarz zusammentreffen, während die des bläulichen dann schon über dem nächsten weifsen Streifen sich decken, und die seinem geschwächten Roth wieder weifs machen.

130 Übrigens kann man alle die beschriebenen Erscheinungen ganz wie bei dem Auge, nur noch augenfälliger, an einem nicht achrom Fernrohr wahrnehmen, wenn man eine stärkere Vergröfserung mit de erzeugt, als mit der Deutlichkeit des Bildes verträglich ist. In einem Fernrohre wird das von der Objectivlinse entworfene Bild nicht au Schirme aufgefangen, wie im Auge auf der Netzhaut, sondern durch grösernden Ocularlinsen vom Beschauer betrachtet. Eine Vergröfser

[1] W. v. Bezold, *Graefe's Archiv für Ophthalm.* XIV. (2). S. 1—29. Dort ist auch eine Theorie der Erscheinungen gegeben.

bjectivglase entworfenen Bildes muſs man aber anwenden, weil sonst rbensäume meist zu schmal sind, um deutlich gesehen zu werden. ier sieht man, wenn das Fernrohr für einen entfernteren Gesichtspunkt htet ist, weiſse Flächen roth und gelb gesäumt; ist es dagegen für aheren eingestellt, blau gesäumt. Bei der Einstellung, welche die en Bilder giebt, erscheinen sehr schmale purpurne Ränder. Verdeckt e Hälfte des Objectivs, so erscheinen an gegenüberliegenden Rändern 131
ſsen Flächen blaue und gelbe Ränder u. s. w., ganz wie unter ana-
erhältnissen im Auge.

die Gröſse der durch Dispersion im Auge erzeugten Zerstreuungskreise zu n, können wir LISTING's reducirtes Auge und darin Wasser als brechende eit zu Grunde legen, da nach FRAUNHOFER's Messungen die farben-de Kraft eines solchen Auges von der des menschlichen wenig abweichen Es verhält sich (*Fig. 77*)

$$\frac{\gamma\gamma}{b_1 b_2} = \frac{\delta r}{f r} = \frac{\delta v}{f v}, \text{ also ist}$$

$$\gamma\gamma \cdot fr = b_1 b_2 \cdot \delta r$$

$$\gamma\gamma \cdot fv = b_1 b_2 \cdot \delta v. \quad \text{Beides addirt giebt}$$

$$\gamma\gamma \cdot [fr + fv] = b_1 b_2 \cdot [\delta r + \delta v]$$

$$= b_1 b_2 \cdot [fr - fv]$$

$$\gamma\gamma = b_1 b_2 \cdot \frac{fr - fv}{fr + fv}.$$

r $b_1 b_2$, entsprechend dem mittleren Durchmesser der Pupille normaler ich 4 mm. und weiter, wie oben gefunden ist,

$$fr = 20.574 \text{ mm.}$$

$$fv = 20.140 \text{ mm.}$$

$$\text{so wird } \gamma\gamma = 0.0426 \text{ mm.}$$

der in § 11 gegebenen Tafel für die Gröſse der Zerstreuungskreise von für welche das Auge nicht accommodirt ist, würde daher der Durch- $\gamma\gamma$ der durch die Dispersion bedingten Zerstreuungskreise ebenso groſs der, den ein leuchtender Punkt 1.5 m ($4^3/_4$ Fuſs) Entfernung in einem liche Entfernung accommodirten Auge giebt. Eine solche Abweichung mmodation giebt bei der Betrachtung feinerer Gegenstände schon eine kliche Ungenauigkeit des Bildes, wie man bei Anstellung eines ent-ten Versuches leicht erkennt. Um zu erklären, warum die Dispersion en Lichts im Auge trotz der gleichen Gröſse der Zerstreuungskreise keine e Ungenauigkeit des Bildes hervorbringt, muſs man nicht blos die Gröſse reuungskreise, sondern auch die Vertheilung des Lichts in denselben be-tigen

an ein Lichtkegel von einem einfarbig leuchtenden Punkte in das Auge t die Netzhaut sich vor oder hinter dem Vereinigungspunkte der Strahlen so wird ein Zerstreuungskreis gebildet, der in allen seinen Theilen gleiche t hat

enn dagegen das Auge von einem Kegel weiſsen Lichts getroffen wird, und sich die z. Vereinigungspunkte der grüngelben Strahlen, welche die lichtstärksten sind,

befindet, so werden diese auf einen Punkt der Netzhaut vereinigt, währ übrigen Strahlen Zerstreuungskreise bilden, welche um so gröfser werden, ihre Brechbarkeit von der der mittleren Strahlen abweicht.

Während also der Mittelpunkt des beleuchteten Kreises von Strahl Art gleichzeitig getroffen wird, und namentlich auch von den lichtstärks am meisten concentrirten Strahlen, fallen auf die dem Rande näher liegende des Kreises nur Strahlen von den äufsersten Farben des Spectrum, welche an und für sich schon lichtschwächer sind als die mittleren, und zweitens dafs sie ihr Licht über gröfsere Zerstreuungskreise vertheilen, noch m schwächt sind. Die Rechnung ergiebt, dafs unter diesen Umständen die H
132 im Mittelpunkte des Zerstreuungskreises unendlich grofs sein mufs gegen al ren Punkte des Kreises.

Da wir für das Gesetz der Helligkeit der einzelnen Farben des Spectr keinen mathematischen Ausdruck angeben können, wollen wir die Rechnun der Annahme durchführen, dafs alle Farben des Spectrum gleiche Helligkei Dabei werden wir allerdings die Helligkeit der Ränder der Zerstreuun gröfser finden, als sie in Wahrheit ist, aber es wird sich auch unter di unseren Zweck ungünstigen Annahme zeigen, warum die durch Farbenzer bedingten Zerstreuungskreise eine weit geringere Undeutlichkeit des Bildes als die durch mangelnde Accommodation bedingten von gleicher Gröfse.

Berechnung der Helligkeit in einem durch Dispersion erz Zerstreuungskreise eines einzelnen leuchtenden Punktes.

Es sei in *Fig. 81* $b\,b$ die Hauptebene des reducirten Auges vom Ra in ihr möge, wie das beim Auge nahehin der Fall ist, die Blendung liegen, das Strahlenbündel begrenzt, so dafs $b$ Durchmesser der Blendung ist, deren Hal wir in der Rechnung mit $b$ bezeichnen Die Strahlen, welche in das Auge fallen, parallel sein. Es sei ferner $v$ der Bre für die äufsersten violetten, $w$ der für die äu rothen Strahlen. Diese äufsersten Strahlen den sich in $g$, so dafs $g\,g$ der Durchme ganzen Zerstreuungskreises und $h$ sein Mit ist. Die Netzhaut mufs sich in der Eb befinden, wenn sie das deutlichste Bild aufnehmen soll. Das Brechungsve der mittleren Strahlen, die sich in $h$ vereinigen, nennen wir $N$, ihre Bre $a\,h$ sei $F$. Dann ist nach § 9 Gleichung 3a)

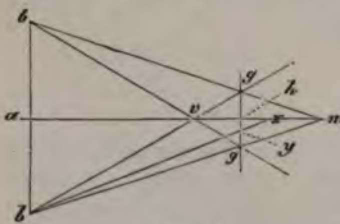


*Fig. 81.*

$$F = \frac{N.R}{N-1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .$$

Das Brechungsverhältnifs irgend einer anderen Art von Strahlen, welche ihren punkt in $x$ haben, sei $n$, die zugehörige Brennweite $a\,x$ gleich $f$. Dann i

$$f = \frac{n.R}{n-1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .$$

Den Radius des Zerstreuungskreises, den diese Strahlen geben, $h\,y$, nenne Er ist gegeben durch die Gleichung

$$\frac{\varrho}{b} = \frac{f-F}{f},$$

$f > F$, also $n < N$, oder durch

$$\frac{\varrho}{b} = \frac{F-f}{f},$$

$f < F$, also $n > N$. Setzen wir hierin aus 1a) und 1b) die Werthe von l $f$, so erhalten wir

$$\frac{\varrho}{b} = \frac{N-n}{n.(N-1)} \quad \text{. . . . . . . . . . . . . 2a),}$$

$n < N$, und

$$\frac{\varrho}{b} = \frac{n-N}{n.(N-1)} \quad \text{. . . . . . . . . . . . 2b),}$$

$n > N$.

ie Helligkeit $H$ nun, mit welcher die Farbe von dem Brechungsverhältnifs $n$ 133
trahmt beleuchtet, ist

$$H = A . \frac{b^2}{\varrho^2} \quad \text{. . . . . . . . . . . . . 3),}$$

wir die Helligkeit mit $A$ bezeichnen, mit welcher das betreffende Licht die $b$ $b$ beleuchtet. Setzen wir in 3) statt $\frac{b}{\varrho}$ aus 2a) oder 2b) seinen Werth, alten wir übereinstimmend:

$$H = A . \frac{n^2.(N-1)^2}{(n-N)^2} \quad \text{. . . . . . . . . . . 3a).}$$

ie Helligkeit $J$ irgend eines Punktes im Zerstreuungskreise wird nun werden

$$J = \int H . d\,n \quad \text{. . . . . . . . . . . . 4),}$$

wir das Integral über alle diejenigen Werthe von $n$ auszudehnen haben, zugehörige Farben auf jenen Punkt fallen.

dem Ausdrucke für $H$ ist der Factor $A$ in Wirklichkeit eine Function deren mathematischen Ausdruck wir aber nicht kennen. Der Factor $n^2$ rt in der ganzen Ausdehnung des Spectrum seinen Werth sehr wenig. Wir deshalb setzen

$$A . n^2 \; (N-1)^2 = B$$

als constant ansehen, d. h. annehmen, dafs die Helligkeit der Spectralfarben die ganze Ausdehnung des Spectrums nahehin constant sei, und nur wenig aber zum violetten Ende hin abnehme. Diese Annahme ist für unseren jedenfalls ungünstiger als die Wirklichkeit. Dann wird nach 4)

$$J = \int \frac{B . d\,n}{(N-n)^2} \quad \text{. . . . . . . . . . . 4a)}$$

n den gehörigen Grenzen genommen. Es fallen aber auf jeden Punkt des reuungskreises erstens Strahlen aus dem rothen, und zweitens Strahlen aus letzten Theile des Spectrums. Die Grenzen der Brechbarkeit für die ersteren und $n_2$, so dafs

$$N > n_2 > n_1,$$

aber für die letzteren seien $n_3$ und $n_4$, so dafs

$$n_4 > n_3 > N$$

Dann wird die Gleichung 4a)

$$J = B\int_{n_1}^{n_2} \frac{d\,n}{(N-n)^2} + B\int_{n_3}^{n_4} \frac{d\,n}{(N-n)^2}$$

$$= B\left\{\frac{1}{N-n_2} - \frac{1}{N-n_1} + \frac{1}{N-n_4} - \frac{1}{N-n_3}\right\} \;.\;.$$

Ist nun $\varrho_0$ die Entfernung des Punktes, dessen Helligkeit wir bestimmen wo vom Mittelpunkte des Zerstreuungskreises, so wird dieser Punkt von allen jenigen Farben getroffen, für welche die Radien der Zerstreuungskreise größer als $\varrho_0$, also zwischen $\varrho_0$ und $r = {}^1/_2\,gg$ liegen. Nun ist für die weniger bı baren Farben, wenn wir aus Gleichung 2a) den Werth von $N - n$ bestimmeı

$$\frac{1}{N-n} = \frac{1}{N} + \frac{1}{N.(N-1)} \cdot \frac{b}{\varrho}.$$

134 Für $n = n_1$ ist $\varrho = r$, für $n = n_2$ ist $\varrho = \varrho_0$, also

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{N-n_1} &= \frac{1}{N} + \frac{1}{(N-1).N} \cdot \frac{b}{r} \\ \frac{1}{N-n_2} &= \frac{1}{N} + \frac{1}{(N-1).N} \cdot \frac{b}{\varrho_0} \end{aligned}\right\} \;.\;.\;.\;.\;.\;.$$

Für die Bestimmung von $n_3$ und $n_4$ müssen wir den Werth von $N - n$ Gleichung 2b) entnehmen.

$$\frac{1}{N-n} = \frac{1}{N} - \frac{1}{N.(N-1)} \cdot \frac{b}{\varrho}.$$

Für $n = n_4$ wird $\varrho = r$, und für $n = n_3$ wird $\varrho = \varrho_0$, also

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{N-n_4} &= \frac{1}{N} - \frac{1}{N.(N-1)} \cdot \frac{b}{r} \\ \frac{1}{N-n_3} &= \frac{1}{N} - \frac{1}{N.(N-1)} \cdot \frac{b}{\varrho_0} \end{aligned}\right\} \;.\;.\;.\;.\;.\;.$$

Setzen wir die Werthe aus 4c) und 4d) in 4b), so erhalten wir endlich

$$J = \frac{2\,B}{N.(N-1)} \left\{\frac{b}{\varrho_0} - \frac{b}{r}\right\} \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.$$

Dieser Werth von $J$ wird in der Mitte des Zerstreuı kreises für $\varrho_0 = 0$ unendlich grofs, am Rande, $\varrho_0 = r$, gleich 0.

Fig. 82.

Berechnung der Helligkeit am Rande e gleichmäfsig erleuchteten Fläche. Es sei in Fi $AB$ die Grenzlinie einer links von ihr liegenden leucl den Fläche, und angenommen, dafs jeder Punkt derselbe Zerstreuungskreis erscheine. Es sei ferner $p$ der Pı dessen Helligkeit bestimmt werden soll, und $pq = r$ Radius der Zerstreuungskreise. Es wird auf $p$ l gelangen aus allen denjenigen Punkten der Fläche, wı innerhalb des mit dem Radius $r$ um $p$ geschlag Kreises liegen. Wenn $s$ einer dieser Punkte ist, und wir die Länge $sp$ m

Winkel $spq$ mit $\omega$, und die Helligkeit des Zerstreuungskreises eines ein- Punktes in der Entfernung $\varrho$ vom Centrum mit $J$ bezeichnen, so wird die keit $H$ im Punkte $p$ werden:

$$H = \iint J.\varrho.d\omega.d\varrho, \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 6),$$

Integral ausgedehnt über alle Theile der Fläche, welche innerhalb des geschlagenen Kreises liegen.

Wenn der Rand der Fläche eine gerade Linie und der Abstand des Punktes $s$ dem Rande gleich $x$ ist, so ist für die am Rande gelegenen Punkte der Fläche

$$\varrho.\cos\,\omega = x$$

enn wir den Ausdruck für $H$ zuerst nach $\omega$ integriren, und aus der letzten ung den Werth für die Grenzen von $\omega$ entnehmen,

$$H = \int_x^r 2\,J\,.\,\varrho\,.\,arc.cos\left(\frac{x}{\varrho}\right).\,d\,\varrho, \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 6a).$$

Wenn die Zerstreuungskreise durch unpassende Accommodation entstehen, 135
n wir $J$ als unabhängig von $\varrho$ betrachten und erhalten dann:

$$H = J\left[r^2.arc.cos\left(\frac{x}{r}\right) - x\,.\,\sqrt{r^2 - x^2}\right], \quad . \; . \; . \; . \; 7),$$

Gleichung für diesen Fall die Helligkeit in der Nähe des Randes der Fläche unction des Abstandes vom Rande giebt. Für $x = r$ wird $H = 0$, für $-r$ wird $H = Jr^2\pi$ und geht hier in die constante Helligkeit der Fläche über. Wenn die Zerstreuungskreise durch Dispersion entstanden sind, können wir in ung 6a) den Werth von $J$ aus Gleichung 5) setzen, und erhalten durch rung der Integration:

$$\frac{2\,B.b}{N\,(N-1)}\left\{r.\,arc\,cos\left(\frac{x}{r}\right) + \frac{x}{r}\sqrt{r^2-x^2} + x.\,log.\,nat.\left(\frac{r-\sqrt{r^2-x^2}}{r+\sqrt{r^2-x^2}}\right)\right\} \quad 8).$$

$r$ wird $H = 0$, für $x = -r$ wird

$$H = \frac{2\,B.b.r.\pi}{N.(N-1)}$$

ht hier in die constante Helligkeit des mittleren Theils der Fläche über.

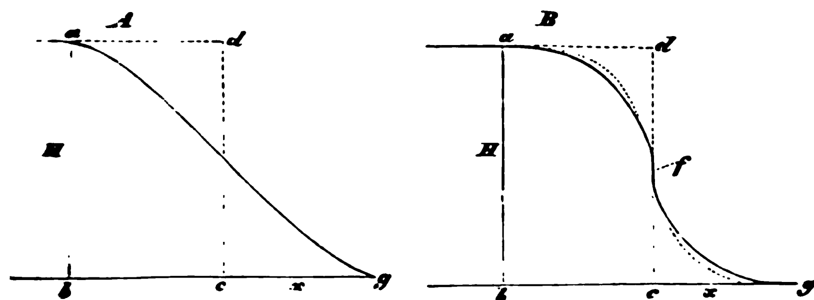



Fig. 83.

m den Gang dieser Functionen übersichtlicher darzustellen, habe ich in *Fig. 83* iden Curven construirt. $A$ entspricht der Gleichung 7), $B$ der Gleichung 8).

In beiden sind die Werthe von $x$ in horizontaler, die Werthe der Helligkeit $H$ in verticaler Richtung aufgetragen. Die Ordinate $a\,b$ entspricht der Helligkeit in der Mitte der Fläche, $c$ bezeichnet den Ort des Randes, so dafs die Linie $a\,d\,c$ die Helligkeit eines ganz scharfen Bildes bezeichnen würde. Die Grenzen des Zerstreuungskreises von $c$ sind $a$ und $g$. Die Curve $B$ zeichnet sich dadurch vor der anderen aus, dafs sie in ihrer Mitte bei $f$, entsprechend dem wirklichen Orte des Randes, ganz senkrecht abfällt. Es wird hier für $x = 0$ nämlich der Differentialquotient

$$\frac{d\,H}{d\,b} = \frac{2\,B.b}{N.(N-1)} \cdot \left\{ \frac{2}{r} \cdot \sqrt{r^2 - x^2} + log.\ nat. \left[ \frac{r - \sqrt{r^2 - x^2}}{r + \sqrt{r^2 - x^2}} \right] \right\} \quad . \; . \; . \; 9)$$

unendlich grofs. Dieser plötzliche Abfall der Helligkeit am Rande der Fläche macht für das Auge die Lage des Randes scharf erkennbar, wenn auch eine gewisse Menge Licht sich noch weiter verbreitet, während in der Curve $A$ die Abnahme der Helligkeit ziemlich gleichmäfsig stattfindet, und der Ort des Randes durch kein besonderes Kennzeichen ausgezeichnet ist.

Wenn man die nach den Enden des Spectrum abnehmende Helligkeit der
136 Farben in Rechnung ziehen könnte, so würde die Curve $B$ etwa die Form der punktirten Linie bekommen müssen. Die Helligkeit innerhalb der Grenzen der Fläche würde sich der normalen noch mehr nähern, und aufserhalb dieser Grenzen würde sie noch geringer werden.

Aus diesen Verhältnissen erklärt es sich, warum die Farbenzerstreuung der Bilder im Auge der Schärfe des Sehens so wenig Eintrag thut. Ich habe mir Linsen zusammengestellt, welche im Stande waren, das Auge achromatisch zu machen, aber nicht gefunden, dafs die Schärfe des Gesichts dadurch merklich erhöht wurde. Ich fand zu dem Ende eine concave Flintglaslinse von 15,4 mm Brennweite, von einem Objectivglase eines Mikroskops genommen, passend. Diese setzte ich zusammen mit convexen Crownglaslinsen, so dafs dadurch ein System von etwa $2^1/_2$ Fufs negativer Brennweite entstand, wie es für mein Auge pafste, um ferne Gegenstände gut zu erkennen. Wenn ich durch dieses System sah, und die halbe Pupille verdeckte, entstanden keine farbigen Ränder an der Grenze dunkler und heller Gegenstände mehr. Ebenso wenig entstanden dergleichen bei unpassender Accommodation des Auges, so dafs das Auge durch dieses Linsensystem wirklich achromatisch gemacht war. Ich konnte aber nicht finden, dafs die Schärfe des Sehens in irgend merkbarer Weise zugenommen hätte.

Newton kannte schon die Farbenzerstreuung im Auge; er erwähnt die Farbenränder, welche bei halbverdeckter Pupille erscheinen[1]. Es ist bekannt, dafs Newton, weil er irrthümlich voraussetzte, die Dispersion aller durchsichtigen Mittel sei ihrer Brechkraft proportional, zu dem Schlusse kam, dafs es keine achromatischen Linsensysteme geben könne. Wunderlicher Weise fand Euler[2] in dieser Beziehung das Richtigere, indem er jedoch dabei von der anderen falschen thatsächlichen Voraussetzung ausging, dafs das Auge achromatisch sei, und daraus folgerte, dafs Newton's Annahme über die Dispersion falsch sein müsse. Ihm widersprach in dieser Beziehung d'Alembert[3], indem er nachwies, dafs im Auge die Farbenzerstreuung nicht merklich zu werden brauche, selbst wenn sie ebenso grofs wie in Gläsern sei. Ebenso widersprach Dollond[4], welcher behauptete, dafs trotz der Anwendung verschiedener brechender Substanzen im Auge es

[1] J. Newton, *Optice.* Lib. I. P. II. Prop. VIII.
[2] L. Euler, *Journal Encyclop.* 1767. II. p. 146. — *Mém. de l'Acad. de Berlin.* 1747.
[3] J. L. d'Alembert, *Mém. de l'Acad. de Paris.* 1767. p. 81.
[4] J. Dollond, *Philos. Trans.* T. LXXIX. p. 256.

achromatisch sein könne, da alle einzelnen Brechungen der Lichtstrahlen nach der gingen. Wenn wir das für farblos durchsichtige Mittel bisher stets bestätigte Ge- allgemeingültig ansehen, dafs bei jeder Brechung des Lichts an der Grenzfläche von ngefärbt durchsichtigen Substanzen die violetten Strahlen stärker gebrochen wer- die rothen, so ist DOLLOND's Beweisführung gültig. Dann mufs nämlich im jedenfalls bei jeder Brechung das violette Licht sich der Axe mehr nähern als das

MASKELYNE[1] hat auch Messungen der Farbenzerstreuung gemacht und gefunden, Intervall der Brennpunkte 0,02 Zoll (0,61 mm) betrage, was einem Gesichts- von 25 Sec. entspreche, während man in Fernröhren sie noch bis zu einem Ge- nkel von 57 Sec. zulässig finde. JURIN[2] hat die farbigen Ränder unbestimmt ge- Objecte bemerkt. WOLLASTON[3] machte auf das eigenthümliche Aussehen des tischen Spectrum aufmerksam, welches von der Unfähigkeit des Auges, sich für rben gleichzeitig zu accommodiren, herrührt. Eine vollständige Theorie der Er- ngen bei halbverdeckter Pupille gab MOLLWEIDE[4], eine vollständige Bearbeitung scher hierher gehörigen Erscheinungen TOURTUAL. Die ersten genauen Messungen rbenzerstreuung des Auges stellte FRAUNHOFER[5] an, mit Berücksichtigung der von STON und ihm entdeckten festen Linien im Spectrum, spätere MATTHIESSEN[6].

Trotz aller dieser Untersuchungen hielten manche Naturforscher doch die Idee 137
r absoluten Vollkommenheit des Auges und somit auch seiner mehr oder weniger mmenen Achromasie fest, wie FORBES[7], VALLÉE[8].

## § 14. Astigmatismus.

Ausser der Ungenauigkeit des Bildchens, welche durch die ungleiche ung verschiedenfarbiger Lichtstrahlen bedingt ist, kommt bei den op- n Instrumenten, welche Glaslinsen mit sphärischen Flächen enthalten, eine zweite Art der Abweichung vor, die Abweichung wegen der ngestalt oder sphärische Aberration, welche darin besteht, dafs Lichtstrahlen von gleicher Farbe, die von einem Punkte ausgehen, von nen Flächen im Allgemeinen nicht genau, sondern nur annähernd in Punkt wieder vereinigt werden. Wir wollen diese monochromatische eichungen nennen. Es giebt allerdings gewisse krumme Flächen, die Lichtstrahlen, die von einem bestimmten leuchtenden Punkte aus- ganz genau in einen Punkt wieder vereinigen (aplanatische Flächen). nd dies Rotationsflächen, deren Erzeugungscurve im Allgemeinen durch Gleichung vierten Grades gegeben wird. In gewissen Fällen aber, z. B. der leuchtende Punkt in unendlicher Entfernung liegt, ist die Erzeugungs- eine Ellipse. Auch kann in Systemen von kugeligen brechenden Flächen eine passende Combination der Krümmungsradien und Abstände der n die Kugelabweichung auf ein Minimum gebracht werden. Auch Systeme nennt man aplanatisch. Übrigens ist natürlich der

1 MASKELYNE. Philos. Trans. LXXIX. 258. 1789.
2 JURIN. Smith's Opticks. 96.
3 WOLLASTON. Philos. Trans. 1801. P. I. p. 50.
4 B. MOLLWEIDE. Gilbert's Annalen. XVII. 328. 1804 und XXX. 220. 1808.
5 FRAUNHOFER. Gilbert's Annalen. LVI. 304. — Schuhmacher's astronom. Abhandl. Heft II. S. 39.
6 MATTHIESSEN. Comptes rendus. XXIV. 875.
7 FORBES. R. Edinb. Soc. XVI. 1849. p. 251.
8 L. VALLÉE. Comptes rendus. XXIV. 1096. XXXIV. 321.

Zerstreuungskreis, den das Bild eines in der optischen Axe eine
Systems liegenden leuchtenden Punktes bildet, rings um die Axe
trisch. Er bildet einen hellen Fleck, dessen Helligkeit in der
stärksten ist, und von da nach allen Seiten hin schnell abnimmt.

Die im Auge vorkommenden monochromatischen Abweichun
nicht, wie die sphärische Aberration der Glaslinsen, symmetrisch
Axe, sie sind vielmehr unsymmetrisch und von einer Art, wie sie
138 gearbeiteten optischen Instrumenten nicht vorkommen darf.

Die Erscheinungen sind folgende: 1) Man wähle zuerst als Obj
sehr kleinen leuchtenden Punkt (ein mit einer Nadel gestochenes L
in schwarzem, undurchsichtigem Papier, durch welches Licht fällt) u
ihn, nöthigenfalls unter Anwendung eines convexen Brillenglases,
etwas gröfsere Entfernung als die gröfste Accommodations
so dafs auf der Netzhaut ein kleiner Zerstreuungskreis entsteh
sieht alsdann statt des hellen Punktes nicht, wie es in einem
eingestellten Fernrohre der Fall ist, eine kreisförmige Fläche, son
strahlige Figur von vier bis acht unregelmäfsigen Strahlen, welche
Augen verschieden zu sein pflegt und auch für verschiedene Mens
schieden ist. Ich habe in *Fig. 84 a* die aus meinem rechten, in *b*
meinem linken Auge abgebildet. Die
Peripherie gekehrten Ränder der helle
eines von weifsem Lichte entworfe
streuungsbildes dieser Art sind blau
die dem Centrum zugekehrten rothg
Figur scheint bei den meisten Men
der Richtung von oben nach unte
zu sein als von rechts nach links. Ist
schwach, so kommen nur die hellste
der Strahlenfigur zur Wahrnehmung,
sieht mehrere Bilder des hellen Punk
denen gewöhnlich eines heller ist als

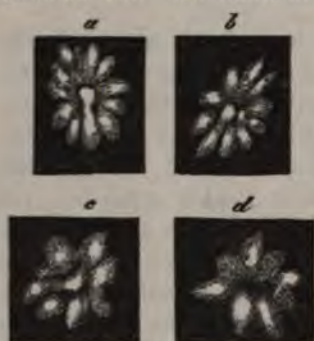


*Fig. 84.*

deren. Ist das Licht dagegen sehr stark, läfst man z. B. directes
licht durch eine feine Öffnung fallen, so fliefsen die Strahlen de
in einander, rings umher entsteht aufserdem ein aus unzähligen,
feinen und bunt gefärbten Linien bestehender Strahlenkranz von vi
rer Ausdehnung, den wir unter dem Namen des Haarstrahlen
von dem sternförmigen Zerstreuungsbilde unterscheiden wollen.

Hat man die sternförmige Figur oder bei schwächerem Lichte
fachen Bilder des leuchtenden Punktes vor sich, und schiebt ein
sichtiges Blatt von unten her vor das Auge, so schwindet zuerst der
untere Theil des Zerstreuungsbildes, also der obere Theil des entspr
Netzhautbildchens. Schiebt man das Blatt von oben, von rechts o
vor das Auge, so schwindet dem entsprechend immer der obere, re
linke Theil des Zerstreuungsbildes.

Anders verhält sich der ausgedehntere Haarstrahlenkranz, den sehr [illegible]sives Licht erregt. Wenn man die Pupille von unten her verdeckt, [illegible]schwindet keineswegs der untere Theil dieses Kranzes, sondern nur der [illegible]re Theil des centralen hellen Sterns. Die Erscheinung wird aber da- 139
[illegible]ch gestört und verändert, dafs sehr lebhafte Diffractionsbilder sich ent[illegible]keln, welche von der verengerten und veränderten Gestalt der Pupille [illegible]ngt sind.

Die strahlige Gestalt der Sterne und ferner Laternen gehört mit zu [illegible]sen Erscheinungen.

2) Ist umgekehrt das Auge für eine gröfsere Entfernung als die des leuch[illegible]den Punktes accommodirt (zu welchem Zwecke man bei fernen leuchtenden [illegible]kten eine schwache Concavlinse vor das Auge bringen kann), so erscheint [illegible]e andere strahlenförmige Figur (*Fig.* 84 *c* aus meinem rechten, *d* aus [illegible]nem linken Auge), deren gröfsere Ausdehnung meist horizontal ist. Ver[illegible]ckt man die Pupille von einer Seite her, so schwindet die entgegengesetzte [illegible]ite des vom Beobachter gesehenen Zerstreuungsbildes, d. h. die der ver[illegible]eckten Hälfte der Pupille gleichseitigen Theile des Netzhautbildes. Diese [illegible]gur wird also von Strahlen gebildet, welche die Axe des Auges noch nicht [illegible]schnitten haben. Wenn sich Thränenflüssigkeit über das Auge verbreitet [illegible]t, oder durch häufiges Blinzeln mit den Lidern Fetttröpfchen aus den [illegible]mboi'schen Drüsen auf die Hornhaut gekommen sind, ist die Strahlenfigur [illegible]eist gröfser, unregelmäfsiger, wird durch Blinzeln bedeutend verändert, [illegible]d wenn man die Pupille von der Seite her verdeckt, verschwindet dadurch [illegible]cht blos eine Seite der Strahlenfigur.

3) Bringt man den leuchtenden Punkt in eine solche Entfernung, dafs [illegible]an das Auge für sie accommodiren kann, so sieht man bei mäfsigem Lichte [illegible]inen kleinen rundlichen hellen Fleck ohne Unregelmäfsigkeiten. Bei stär[illegible]kerem Lichte dagegen bleibt sein Bild bei jeder Weise der Accommodation [illegible]trahlig, und man findet bei allmäligen Accommodationsänderungen nur, dafs [illegible]ie vertical verlängerte Strahlenfigur, welche bei kürzerer Sehweite vorhanden [illegible]st, sich verkleinert, rundlicher wird und dann in die horizontal verlängerte Strahlenfigur übergeht, die einer gröfseren Sehweite angehört.

4) Wenn man eine feine Lichtlinie betrachtet, kann man sich die Er[illegible]scheinungen, welche entstehen, leicht dadurch im Voraus entwickeln, dafs [illegible]an die strahligen Zerstreuungsbilder für alle einzelnen Punkte der Linie [illegible]construirt denkt, die sich nun zum Theile decken. Die helleren Theile der Zer[illegible]streuungsbilder fliefsen dann zu Lichtlinien zusammen, welche als mehrfache [illegible]Bilder der hellen Linie erscheinen. Die meisten Augen sehen zwei, manche [illegible]n gewissen Lagen fünf oder sechs solche Doppelbilder.

Um den Zusammenhang der Doppelbilder von Linien mit den strahligen [illegible]Bildern von Punkten gleich durch den Versuch anschaulich zu machen, [illegible]schneide man in ein dunkles Papierblatt eine feine gerade Spalte, und ein [illegible]wenig von deren Ende entfernt, in der Richtung ihrer Verlängerung, steche [illegible]an ein rundes Löchelchen ein, wie *Fig.* 85 *a*. Von Ferne sehend, be-

merkt man dann, dafs die Doppelbilder der Linie genau denselben Absta
von einander haben, wie die hellsten Stellen der strahlenförmigen Zerstr
ungsfigur des Punktes, und dafs letztere in der Verlängeru
der ersteren liegen, wie in *Fig. 85 b*, wo in der Zerstreuun
140 figur des hellen Punktes nur die hellsten Theile des Ster
*Fig. 84 a*, sichtbar sind.



*Fig. 85.*

Hierher gehören die mehrfachen Bilder, welche die meist Augen von den Hörnern der Mondsichel sehen. Diese Erscheinu wird Polyopia monocularis (oder monophthalmica) genan

An den Grenzen heller Flächen, für welche das Auge ni ganz vollkommen accommodirt ist, machen sich die Doppelbild auch mitunter dadurch bemerklich, dafs am Rande der hell Fläche der Übergang von Helligkeit zu Dunkel in zwei od drei Absätzen geschieht.

Weitere hierher gehörige Erscheinungen folgen unten bei der Leh von der Irradiation.

Dafs die beschriebenen Erscheinungen von einer Asymmetrie des Aug herrühren, ist zunächst klar. Ein optisches Instrument, welches um sei Axe ringsum symmetrisch gebaut ist, kann für einen in der Axe liegend Lichtpunkt allerdings Zerstreuungsfiguren entwerfen, die aber selbst sy metrisch gegen die Axe und kreisförmig gebildet sein müssen.

Was zunächst die strahlige Bildung der kleineren Zerstreuungskreis betrifft, so müssen wir trennen, was davon dauernd ist und jeder Zeit b
141 reiner Hornhaut wieder erscheint, und andererseits den Theil der Ersche nung, der durch Thränenflufs und Blinzeln der Augenlider verändert wir Der letztere Theil rührt offenbar her von Tropfen wässriger oder fett Flüssigkeit, oder von Unreinigkeiten, die sich auf der Hornhaut angesamme haben. Man kann diese Erscheinungen nachahmen, wie A. Fick gezei hat, wenn man mit einer Glaslinse, auf deren Oberfläche man Wassertropf ausgebreitet hat, das Bild eines hellen Punktes entwirft.

Dergleichen vergängliche Erscheinungen kommen in den Strahlenfigure meiner eigenen Augen seltener vor, vielmehr sehe ich gewöhnlich immer di selben Figuren wieder, welche ich oben in *Fig. 84 a* bis *b* abgebildet hab und welche durch ihre strahlige Form wohl zunächst an den strahligen Ba der Linse erinnern. In der That konnte ich mich überzeugen, dafs di wesentlichsten Züge dieser Strahlenfiguren von Unregelmäfsigkeiten der Lin herrühren, indem ich die feine Öffnung, durch welche das Licht fiel, se nahe an das Auge brachte; dann sieht man in dem Zerstreuungskreise di sogenannten entoptischen Erscheinungen, welche im nächsten Paragraphe beschrieben werden sollen. Dort wird auch gezeigt werden, in welch Weise man eine sichere Kenntnifs von dem Orte der Objecte im Auge e halten kann, welche diese Erscheinungen veranlassen. Es fand sich nu dafs gewisse helle und dunkle Streifen, welche dem entoptischen Bilde de

[1] S. oben Seite 39. Fig. 28.

inse angehörten, bei allmälig steigender Entfernung der Öffnung vom Auge bergingen in die hellen und dunklen Flecken und Streifen der in *Fig. 84* und *d* abgebildeten Sternfiguren. Abbildungen dieses Übergangs hat den TH. YOUNG[1] gegeben.

Neuere Untersuchungen an Augen, deren Linse durch Staaroperation ntfernt worden ist, zeigen, dafs diese Augen in der That die sternförmige ildung der kleinen Zerstreuungskreise nicht zeigen, sondern nur die später u beschreibenden elliptischen Formen derselben. Ausnahmsweise aber trägt ch die Hornhaut zu diesen Unregelmäfsigkeiten bei, wenn sie kegelförmige rhebungen oder Geschwürsnarben hat.

DONDERS[2] hat die Erscheinungen, welche jeder einzelne Sector der rystallinse hervorbringt, dadurch zu isoliren gesucht, dafs er einen Schirm it sehr kleiner Öffnung vor dem Auge herumführte, so dafs das Licht bald urch den einen, bald durch den andern Sector der Linse einfiel. Es zeigte ch, dafs jeder einzelne Sector die Strahlen nahehin in einen Punkt vereinigt, dafs aber die Brennpunkte der verschiedenen Strahlen nicht zusammenfallen. Dabei ist aber auch die Vereinigung der Strahlen durch jeden inzelnen Sector nicht ganz genau, sondern die der Augenaxe näheren cheinen einen entfernteren Vereinigungspunkt zu haben, als die peripherisch einfallenden Strahlen. Daher drängen sich in dem Zerstreuungskreis jedes ectors die Strahlen gegen die Peripherie hin zusammen, ehe der Ort der ngsten Vereinigung erreicht ist, und nachher an der centralen Seite des erstreuungskreises.

Optische Systeme, welche solche Abweichungen zeigen, wie wir sie hier r das Auge beschrieben haben, können überhaupt an keiner Stelle homocentrische Strahlen wieder in einen Brennpunkt vereinigen. WHEWELL hat für den Namen des **Astigmatismus** vorgeschlagen (*α* privativum und *στίγμα*, von *στίζω*, pungo, d. h. „ohne Brennpunkt"). Die bisher beschriebene ildung unregelmäfsig sternförmiger Zerstreuungskreise, wie sie sich bei tärkeren Abweichungen der Accommodation zeigen, bezeichnete DONDERS ls den **irregulären Astigmatismus**. Theoretisch sind diese Erscheinungen wichtig, weil sie am deutlichsten die Art des Vorgangs erkennen ssen. Für das Sehen wichtiger sind dagegen diejenigen Unregelmäfsigkeiten, elche bei möglichst guter Accommodation stehen bleiben. In diesen spricht ch meist nur noch die schon in den *Figuren 84 a—d* hervortretende Verngerung der Zerstreuungskreise bald in der einen, bald in der andern ichtung aus. Es sind dies die Erscheinungen, die von DONDERS mit dem amen des **regulären Astigmatismus** belegt worden sind.

Dieselben können auch an andern gekrümmten brechenden Flächen obachtet werden, wenn entweder die Strahlen zwar nahehin senkrecht auf e brechende Fläche fallen, diese aber nicht kugelig gekrümmt ist, sondern

[1] TH. YOUNG, *Phil. Transact.* 1801. I. pl. VI.

[2] F. C. DONDERS, *Arch. f. Ophthalm.* VII. (1.) S. 155—241. 1861; ebenda X. (2.) S. 83—108. 1864. *Astigmatismus und cylindrische Gläser.* Berlin 1862. — *Anomalies of accommodation and refraction.* London [illegible]

in verschiedenen durch das Einfallsloth gelegten Schnittebenen ve gekrümmte Schnittlinien bildet; oder wenn die Fläche zwar kugelig g ist, aber die Strahlen unter grofsen Einfallswinkeln auffallen. Selb Flächen können dünne Strahlenbündel, welche sehr schräg hindu und stark divergiren, astigmatisch machen. Überhaupt ist Astig der gebrochenen und gespiegelten Strahlen eigentlich der allgemeii und die Homocentricität derselben nur als die unter besonderen Bed eintretende Ausnahme zu betrachten.

Die Eigenthümlichkeit eines dünnen astigmatischen Strahlenbü steht darin, dafs es nicht in einem einzigen Punkte, sondern in schieden weit vom Ursprunge der Strahlen entfernten, gegen die Bündels und gegen einander senkrechten kleinen Brennlinien wird. Der deutlicheren Beschreibung wegen wollen wir annehmen, Strahlen in horizontaler Richtung fortgehen, eine kreisförmige Öff siren, welche das Bündel abgrenzt, und dafs die erste und nähere horizontal, die andere vertical liege. In *Fig. 86* sei *c d* die Ric der sich das Strahlenbündel fortpflanzt. Die darunter gesetzten Flecke zeigen die Form der Querschnitte, welche es in den darüb den Punkten von *c d* annimmt. In *c* sei das kreisförmige Diaphr

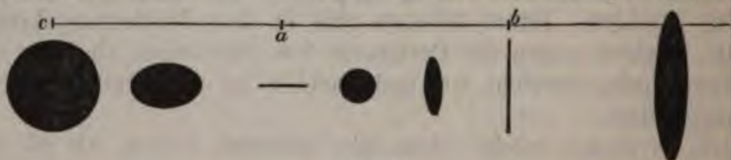



*Fig. 86.*

Strahlen convergiren, aber sie convergiren von oben nach unten als von rechts nach links. Die Querschnitte werden quer verlän lipsen, endlich bei *a* eine begrenzte gerade Linie. Dort schneider Strahlen von oben nach unten; in Folge dessen verlängert sich di Verticalaxe der Ellipse wieder, während die Horizontalaxe noch abzunehmen. Der Querschnitt wird also wieder eine quer verlär lipse, dann ein Kreis, dann eine senkrecht verlängerte Ellipse, en verticale begrenzte gerade Linie, in der der Querdurchmesser d ganz geschwunden ist, und die Strahlen sich nun auch von re links schneiden. Von da ab erweitern sich beide Axen der Ellips die horizontale ist zunächst immer noch die kleinere; in grofser E aber nähert sich der Querschnitt wieder einem Kreise mehr und r

In einem solchen Bündel geschieht also die Durchkreuzung de von oben nach unten nicht an derselben Stelle, wie von rechts n

Wenn das leuchtende Objekt nicht ein einzelner leuchtender P dern eine feine Horizontallinie ist, so würde dieselbe an der Stelle *a* i noch vollkommen scharf gesehen werden können, da die Zerstre Lichts jedes einzelnen leuchtenden Punktes nur in Richtung der geschieht. Dagegen müsste eine solche in *b* undeutlich erscheiner

s Band von einer gewissen Breite bilden. Umgekehrt würde eine Verticallinie in *b* deutlich, in *a* undeutlich erscheinen. Ein astig-
des Auge ist also im Allgemeinen nicht gleichzeitig für horizontale 140
erticale Linien, welche sich in gleicher Entfernung von ihm befinden, modirt. Man betrachte aufmerksam eine Anzahl gerader Linien, die n einem Punkte schneiden, wie *Fig. 87* in einer nung, für welche man gut accommodiren kann. ird bemerken, dafs man sie nach einander alle begrenzt und dunkel schwarz sehen kann, wähman aber eine von ihnen scharf sieht, sind im Allen die anderen nicht scharf. Ist man darin sich der Accommodationsänderungen seines Auges t zu werden, so bemerkt man in der Regel, dafs ge eine gröfsere Sehweite annimmt, um die seinem talen Durchmesser parallelen Linien deutlich zu sehen, mehr für die dagegen accommodirt, um die senkrechten zu sehen.

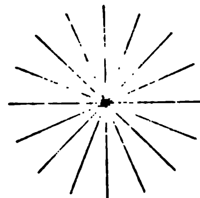


*Fig. 87.*

n mufs deshalb eine verticale Linie weiter vom Auge entfernen als rizontale, wenn man sie beide zu gleicher Zeit deutlich sehen will. rs sah verticale Linien in 4,6 Mt. Entfernung deutlich, und zugleich ale in 3 Mt., ich selbst zu verticalen in 0,65 Mt., horizontale in t. Entfernung.

chnet man eine grofse Zahl feiner concentrischer Kreislinien in Abständen von einander auf Papier, wie in *Taf. I. Fig. 1*, und et sie in einer Entfernung, für die man gut accommodiren kann. einen eigenthümliche strahlige Scheine auf der Figur. Bei genauerer ung erkennt man, dafs in den lichteren Radien die schwarzen und Linien scharf von einander geschieden sind, dazwischen aber liegen e wolkige Stellen, in denen die schwarzen Linien mehr verwaschen en Läfst man die Accommodation des Auges oder die Entfernung ır vom Auge etwas wechseln, so werden andere Stellen der Figur d es entsteht dadurch der Anschein, als ob die klaren Strahlen sich nell hin und her bewegten. Richtet man das Auge für eine beh weitere Entfernung ein, als in der die Figur liegt, so sieht man Sectoren mit deutlichen Linien; wo diese an einander stofsen, sind dig, aber man erkennt, dafs die schwarzen Linien des einen Sectors r denen des nächsten zusammenpassen. Die innersten Kreise be dadurch ein seltsam verzerrtes Ansehen.

reguläre Astigmatismus zeigt sich in fast allen menschlichen Augen 535
gem Grade. Seine Gröfse kann nach demselben Principe, wie die er Accommodation gemessen werden. Astigmatische Augen haben, n angeführt wurde, verschiedene Sehweite für Linien von verschiechtung im Gesichtsfelde. Wenn die gröfste dieser Sehweiten in Pa- gemessen *P* ist und bei demselben unveränderten Accommodations-

zustande die kleinste für eine andere Linienrichtung gleich $p$, so brauche wir als Maafs des Astigmatismus

$$As = \frac{1}{p} - \frac{1}{P}.$$

So lange $As$ kleiner ist als $\frac{1}{40}$, bringt es noch keine erhebliche Stö rung des Sehens hervor; wenn es aber gröfser ist, wird die Gesichtsschärf merklich beeinträchtigt, und es kann solchen Augen durch Brillengläser mi cylindrischen Flächen[1] geholfen werden, deren Brennweite man der Gröfs $As$ gleich grofs wählt, und deren geradlinige Cylinderkanten man, wenn di cylindrische Krümmung convex ist, der Richtung der entferntesten deutlic gesehenen Linien parallel macht. Ist die cylindrische Krümmung conca so stellt man die Cylinderkanten im Gegentheil senkrecht zu jener Richtun Die zweite Fläche der Cylinderlinsen kann man sphärisch schleifen, so da die gleichzeitig etwa vorhandene Myopie oder Hypermetropie corrigirt wir

Ein System cylindrischer Linsen ist auch das beste Mittel schnell her auszufinden, ob und wie grofser Astigmatismus vorhanden sei und welche die Richtungen des Meridians gröfster und kleinster Sehweite sind. Astig matische Linsen mit veränderlichem Grade von Astigmatismus kann ma sich nach einem Vorschlage von STOKES zusammensetzen aus zwei gleiche Cylinderlinsen, die man aufeinander legt. Stellt man sie so, dafs ihr Cylinderkanten sich rechtwinkelig schneiden, so sind sie nicht astigmatisc sondern wirken zusammen wie eine sphärische Linse. Dreht man sie unte einem kleineren oder gröfseren Winkel, so kann man ihnen beliebig wachsend Gröfse des Astigmatismus geben.

Einen zweckmäfsigen Apparat zur schnellen Messung des Astigmatismu hat E. JAVAL[2] durch Herrn NACHET in Paris construiren lassen. Zwei Stern von je 24 Linien werden durch Convexlinsen mit parallelen Gesichtslinie betrachtet. Man entfernt die Zeichnungen so weit, bis nur noch eine d Linien scharf gesehen wird. Dann werden Cylinderlinsen, die in zwei dre baren kreuzförmigen Fassungen sitzen, entweder einzeln oder zu zweien com binirt vorgeschoben, bis man eine Stärke gefunden hat, bei der alle Linie
836 des Sterns gleich deutlich erscheinen. Das Centrum der beiden drehbare Kreuze ist selbst an einem beweglichen Arme befestigt, der um die optisc Axe der Convexlinse gedreht werden kann, um der Krümmung des cyli drischen Glases die richtige Richtung geben zu können.

n Besser noch unterscheidet man die verschiedene Deutlichkeit an den Linie systemen von Herrn O. BECKER[3], wo je vier parallele Linien in jeder Grup nebeneinander stehen, die verschiedenen Gruppen verschieden gerichtet sin

---

[1] TH. YOUNG hat für sein Auge eine schief gestellte sphärische Linse gebraucht, was leicht na zumachen ist.

[2] E. JAVAL, *Ann. oculistique.* LV. p. 5—29. 1866.

[3] O. BECKER, *Vier Tafeln zur Bestimmung des Astigmatismus.* Wien 1868.

Herr E. JAVAL[1] hat auch ein dem Ophthalmometer ähnlich wirkendes Instrument construirt, um die verschiedene Krümmung der Hornhaut in verschiedenen Meridianen leicht und schnell zu constatiren und zu messen. Die Doppelbilder werden durch ein doppelt brechendes Prisma hervorgebracht, welches man gleichzeitig mit den hellen Flächen, die als Object der Hornhautbilder dienen, um die Axe des Instruments rotiren lassen kann.

Noch einfacher ist ein von Herrn PLACIDO[2] vorgeschlagenes Verfahren. Er läfst eine hell beleuchtete Scheibe mit concentrischen schwarzen und weifsen Ringen, wie *Fig.* 78 (S. 162), von der Hornhaut spiegeln, wobei der Beobachter durch ein dem mittleren schwarzen Kreise entsprechendes Loch sieht. Abweichungen der Hornhaut von der Kugelgestalt verrathen sich durch entsprechende Verzerrungen des Hornhautbildes.

Die von DONDERS und KNAPP[3] ausgeführten Messungen der Hornhaut astigmatischer Augen haben ergeben, dafs mit wenigen Ausnahmen die Hornhaut den regelmäfsigen Astigmatismus bedingt, und dafs er bei höheren Graden häufig ein wenig vermindert wird durch einen entgegengesetzten Astigmatismus der Krystallinse. 836

Die Richtung der Linien, für welche die Sehweite am gröfsten ist, ist in den oben angegebenen Fällen von A. FICK und mir selbst in der Regel der verticalen Richtung näher als der horizontalen; doch kommt auch, wie bei TH. YOUNG, in nicht allzu seltenen Fällen das Umgekehrte vor.

Erscheinungen der angegebenen Art werden im Auge oder in optischen Instrumenten im Allgemeinen eintreten, so oft Licht an krummen Flächen gebrochen wird, deren Krümmung nach verschiedenen Richtungen hin verschieden ist, oder auch an Kugelflächen, so oft es schief auf die Fläche fällt. An beiderlei Ursachen kann man im Auge denken. Horizontale und verticale Meridianschnitte der brechenden Flächen des Auges haben nachweislich nicht dieselben Krümmungsradien; und wir wissen aufserdem, dafs das menschliche Auge nicht ganz genau centrirt ist, und dafs der Ort des directen Sehens nicht in der Linie liegt, welche dem Begriffe einer Augenaxe am nächsten kommt. 141

Wie die verschiedene Krümmung der Hornhautmeridiane mit dem Ophthalmometer nachzuweisen ist, ist in § 2, S. 20—22, erörtert.

Anzuführen ist, dafs TH. YOUNG[4], in dessen Auge die beiden Vereinigungsweiten ziemlich betrachtlich differirten, durch einen Versuch ermittelt hat, dafs seine Hornhaut diese Differenz nicht bewirke. Er brachte nämlich sein Auge unter Wasser, wobei die Brechung in der Hornhaut fast vollständig aufgehoben ward, und fand, dafs die Differenz der Vereinigungsweiten noch in gleichem Maafse fortbestand.

Schliefslich ist noch die unvollkommene Klarheit der Augenmedien als Ursache monochromatischer Abweichungen anzuführen. Die Fasern der Horn- 142

[1] [illegible] Juillet 1881. JAVAL, ebenda Mai 1882; Juillet 1882; Janvier [illegible]
[2] [illegible] Anno 2. No [illegible]
[3] KNAPP [illegible] VIII [illegible]
[4] [illegible] P. I. p. 40.

haut und Linse scheinen allerdings durch eine Zwischensubstanz von ziemlich gleichem Brechungsvermögen verbunden zu sein, so dafs bei mäfsiger Lichtstärke diese Theile vollkommen homogen und klar erscheinen. Wenn man aber starkes Licht durch eine Brennlinse auf sie concentrirt, wird das an den Grenzen ihrer Elementarbestandtheile reflectirte Licht stark genug, um sie weifslich trübe erscheinen zu lassen. Von dem durch sie gehenden Lichte wird also, wie dieser Versuch zeigt, ein Theil diffus zerstreut, und mufs auch andere Theile der Netzhaut treffen, auf welche das regelmäfsig gebrochene Licht nicht fällt. In der That bemerkt man, wenn man ein intensives Licht vor einem ganz dunklen Grunde betrachtet, den Grund mit einem nebeligen weifsen Scheine übergossen, der in der Nähe des Lichts am hellsten ist. Sowie man das Licht verdeckt, erscheint der umgebende Grund in seiner natürlichen Schwärze. Ich glaube diese Erscheinung durch zerstreutes Licht erklären zu müssen[1].

Ich will die Theorie der Brechung an nicht kugeligen Flächen und der Brechung bei schiefem Einfall an Kugelflächen hier nicht vollständig entwickeln, weil sie vorläufig für die Untersuchung der Brechung im Auge nur von geringem Nutzen sein würde, solange wir nicht genauere Bestimmungen für die Form der brechenden Flächen haben. Es genüge hier, eine derartige Brechung in zwei einfachen Fällen zu betrachten, aus denen die betreffenden Verhältnisse anschaulich werden.

Wir betrachten zuerst die Brechung im Scheitel eines ungleichaxigen Ellipsoides. Es sei in *Fig. 88* die Linie $gb$ eine Axe des Ellipsoides, in deren Verlängerung bei $p$ der leuchtende Punkt liegt. Die Ebene der Zeichnung sei ein Hauptschnitt des Ellipsoides, so dafs auch noch eine zweite Axe des Ellipsoides $gh$ in dieser Ebene liegt. Da nun die Normalen solcher Punkte der ellipsoidischen Fläche, welche in einem Hauptschnitte liegen, auch in demselben Hauptschnitte liegen, so liegen die Normalen der Curve $bch$ in diesem Falle in der Ebene der Zeichnung. Wenn von $p$ aus ein Strahl auf den Punkt $c$ fällt, so liegt der gebrochene Strahl in der durch den leuchtenden Punkt und das Einfallsloth gelegten Ebene, d. h. in der Ebene der Zeichnung, und schneidet also die Axe $bg$ in irgend einem ihrer Punkte $q$. Dies würde nicht der Fall sein, wenn die Ebene der Zeichnung nicht eben ein Hauptschnitt des Ellipsoids wäre.

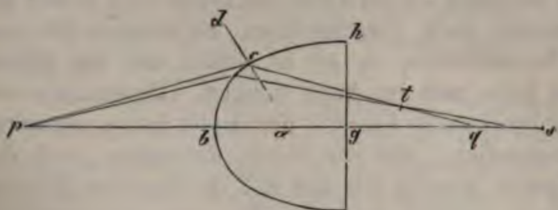


*Fig. 88.*

Ist $ad$ die Normale im Punkte $c$, so wird die Lage des gebrochenen Strahls nun weiter durch die Bedingung bestimmt, dafs

$$\sin \angle pcd = n . \sin \angle acq$$

sein mufs, wenn $n$ das Brechungsverhältnifs bezeichnet. Diese Bedingung ist also dann ganz dieselbe wie für Rotationsflächen. Die nahe senkrecht bei $b$ auffallen-

[1] H. Helmholtz, *Pogg. Ann.* LXXXVI. S. 509. 1852.

en Strahlen werden dann also einen gemeinschaftlichen Vereinigungspunkt in der Axe haben, dessen Entfernung von dem Krümmungsradius $r_{\prime}$ der Curve $bch$ in $b$ abhängt. Ist $p$ unendlich entfernt, so ist die Vereinigungsweite der Strahlen, d. h. die Brennweite in dem vorliegenden Hauptschnitte gleich $\frac{n \cdot r_{\prime}}{n-1}$.

Für die Strahlen von $p$, welche in dem anderen Hauptschnitte verlaufen, der durch $bq$ und die dritte Axe gelegt ist, verhält sich wieder Alles ebenso, nur hat der Krümmungsradius im Scheitel der Fläche einen anderen Werth $r_{\prime\prime}$, und die Vereinigungsweite der Strahlen in diesem zweiten Hauptschnitte ist gleich $\frac{n \cdot r_{\prime\prime}}{n-1}$.

Der Strahl $pq$ wird also von den Strahlen, die in der Ebene der Zeichnung unmittelbar neben ihm liegen, in einem Punkte, etwa $q$, geschnitten; von den Strahlen dagegen, die in einer durch ihn senkrecht zur Ebene der Zeichnung gelegten Ebene ihm unmittelbar benachbart sind, nicht in demselben Punkte $q$, sondern in einem anderen Punkte, etwa in $s$.

Läfst man unter diesen Umständen die Strahlen von $p$ durch eine kleine kreisförmige Öffnung, deren Mittelpunkt sich in der Axe bei $b$ befindet, auf die brechende Fläche fallen, so ist der Querschnitt des Strahlenbündels unmittelbar bei $b$ ein Kreis, zwischen $b$ und $q$ eine Ellipse, deren senkrecht zur Ebene der Zeichnung gestellte Axe gröfser ist als die in der Ebene liegende. Die Ellipse wird immer kleiner und zugleich gestreckter, je mehr wir uns dem Punkte $q$ nähern. In $q$ ist der Querschnitt des Strahlenbündels eine zur Ebene der Zeichnung senkrechte Linie. Weiterhin wird er wieder eine Ellipse, deren gröfsere Axe senkrecht zur Ebene der Zeichnung steht, die schnell einem Kreise ähnlicher wird, ungefähr in der Mitte zwischen $q$ und $s$ wirklich ein Kreis wird und sich dann in eine Ellipse verwandelt, deren längere Axe in der Ebene der Zeichnung liegt, die sich gegen $s$ hin immer mehr streckt, in $s$ selbst sich in eine gerade Linie zusammenzieht und jenseits $s$ allmälig wieder breiter wird und sich immer mehr der Kreisform nähert, wie dies in *Fig.* 86, (S. 174) dargestellt ist.

Ähnlich verhält es sich mit Strahlenbündeln, welche schief auf eine kugelige Fläche fallen. Nehmen wir an, in *Fig.* 88 sei $bch$ eine Kugelfläche und $pc$ ein solcher schief auffallender Strahl. Wir wissen[1], dafs die Strahlen, welche in der Ebene der Zeichnung unmittelbar neben $c$ auf die Fläche fallen, sich mit dem Strahle $pc$ nach der Brechung nicht im Brennpunkte und in der Centrallinie $pq$, sondern in einem seitwärts von der Axe liegenden Punkte der brechenden Fläche schneiden. Es sei dieser Punkt $t$. Denken wir uns dagegen die ganze Figur um die Linie $ap$ gedreht, so tritt der Strahl $pc$ allmälig an die Stelle anderer Strahlen, welche mit ihm gleich weit von dem Punkte $b$ entfernt auf die Fläche fallen, und der gebrochene Strahl $cq$ tritt an die Stelle der ihm zugehörigen gebrochenen Strahlen. Diese Strahlen schneiden sich also alle nur im Punkte $q$.

Während also die in der Ebene der Zeichnung dem Strahle $pc$ unmittelbar benachbarten Strahlen ihn in $t$ schneiden, schneiden ihn diejenigen benachbarten Strahlen die vor und hinter der Ebene der Zeichnung in gleicher Entfernung von $b$ einfallen, in $q$, und endlich können wir hinzusetzen, dafs ihn diejenigen Strahlen, welche weder in der Ebene der Zeichnung noch in gleicher Entfernung von $b$, wie $c$ ist, auffallen, gar nicht schneiden.

[1] Siehe S. [illegible] Fig. 40.

Es ist noch zu erörtern, inwiefern die Diffraction des Lichts in der P
pille von Einfluſs auf die monochromatischen Abweichungen des Auges sein ka
144 Zunächst dürfte wohl die Frage aufgeworfen werden, ob die strahlige Form
kleinen Zerstreuungsfiguren nicht von den kleinen Einschnitten des Pupillarran
veranlaſst sei. In der That sieht man eine ausgedehntere strahlige Figur, w
man nach einem sehr hellen Lichtpunkte durch eine Öffnung sieht, welche klei
als die Pupille ist, und deren Ränder nicht ganz feinpolirt sind; doch besteht
solche Strahlenfigur in der Regel aus sehr feinen, mehr haarförmigen Strahlen
lebhaften Farben, ähnlich dem schon oben beschriebenen Haarstrahlenkranze
Auges, der sehr helle Lichtpunkte umgiebt, auch wenn man sie nicht durch
künstliche Öffnung betrachtet. Dreht man die Öffnung dann um ihren Mittelpu
so dreht sich der ganze Strahlenkranz mit ihr, woraus sich eben ergiebt,
dieser Strahlenkranz von den Rändern der Öffnung herrührt.

Von dem Vorhandensein einer Diffraction des Lichts, welche durch die f
Faserung der Krystallinse veranlaſst wäre, konnte ich mich an meinem eige
Auge nicht überzeugen. Wenn ich durch eine glatt gebohrte Öffnung einer Me
scheibe nach einem kleinen lichten Punkte sehe, so dreht sich immer die ga
Diffractionsfigur, wenn ich die Scheibe drehe. Gehörten einzelne Züge der Diffracti
figur den Fasern der Hornhaut oder Linse an, so müssten diese stehen blei
Dagegen beschreibt BEER[1] aus seinem Auge Diffractionserscheinungen, welche
von einer Faserung der Augenmedien herleitet.

n Auch TYNDALL[2] beschreibt einen Fall, wo Interferenzringe erschienen, ähn
denen, welche ein mit Lycopodiumsamen bepulvertes Glas zeigt.

144 Diese Diffractionsphänomene unterscheiden sich aber von denen der klei
Zerstreuungskreise wesentlich durch den Umstand, daſs letztere beim Verdecken
Pupille von einer Seite her auch von einer Seite her verschwinden, während
andere Seite ungestört bleibt. Wenn ein feines Fäserchen oder ein feiner E
schnitt dagegen Diffractionsstrahlen bildet, so erstrecken sich diese niemals
nach einer Richtung, sondern stets auch nach der entgegengesetzten, weil j
Unterbrechung einer Lichtwelle stets nach entgegengesetzten, meist nach a
Seiten hin ihren Einfluſs ausübt. Die Haarstrahlenfiguren zeigen nun wirk
diesen Charakter; sobald man die Pupille anfängt zu bedecken, werden mehr
weniger alle Theile der Figur gestört und verändert.

Auſser der Diffraction, welche Unregelmäſsigkeiten des Randes der Pupille
wirken, kommt aber auch noch in Betracht, daſs die ganze Pupille als enge kr
förmige Öffnung Diffraction hervorrufen kann. Jedes Mal, wo Strahlen eines leu
tenden Punktes durch eine oder mehrere brechende Flächen von begrenzter Apert
die übrigens vollkommen achromatisch und aplanatisch sein mögen, gebroch
werden, entsteht im Vereinigungspunkte der Lichtstrahlen kein punktförmiges B
sondern wegen der Diffraction am Rande der Apertur eine kleine lichte Figur,
abwechselnd helle und dunkle Stellen zeigt, deren Form und Lage im Allgemein
von der Gröſse und Gestalt der Öffnung abhängig sind. Ist die letztere kreisförm
was bei den optischen Instrumenten und im Auge gewöhnlich der Fall ist, so b
steht die Diffractionsfigur aus einer hellen Kreisscheibe, umgeben von mehre
dunklen und hellen Ringen von schnell abnehmender Helligkeit. Ist $d$ der Durc
messer der Apertur des brechenden Systems, $r$ der Abstand des Bildes von d

[1] E. BEER. *Poggendorff's Ann.* LXXXIV. 518. 1853.
[2] J. TYNDALL in *Phil. Magaz.* (4) XI. 332.

*l* die Wellenlänge des Lichts, so ist der Durchmesser $\delta$ der mittleren [illegible]ilde nach der durch die Versuche bestätigten Theorie dieser Erscheinungen

$$\delta = 2{,}440 \cdot \frac{l \,.\, r}{d}.$$

[illegible]ir für mittleres Licht $l = {}^1/_{2000}$ mm und $r$ für das Auge gleich 20 mm, wenn $\delta$ und $d$ in Millimetern ausgedrückt werden,

$$\delta = 0{,}0244 \cdot \frac{1}{d}.$$

[illegible] kleinsten Pupillenweite, die wir gleich 2 mm setzen wollen, würde $\delta$ gleich 145 [illegible] mm werden. Diese Gröfse des Zerstreuungskreises entspricht einem Ge[illegible]kel von 2 Min. 6 Sec., und ist gleich der Gröfse des Zerstreuungskreises, [illegible] einem für unendliche Entfernung adaptirten Auge ein 25 m entfernter [illegible]kt entwirft. Da der Gesichtswinkel der kleinsten wahrnehmbaren Distanzen [illegible] Min. beträgt, so mufs bei engster Pupille die Diffraction eben anfangen, [illegible]nigkeit des Sehens zu beeinträchtigen.

[illegible] den monochromatischen Abweichungen gehören auch noch die Lichtstreifen, [illegible]ach oben und unten von einem lichten Körper ausgehen, wenn man die [illegible]er halb schliefst. Sie rühren von der Brechung des Lichts in dem con[illegible]ssigkeitsrande her, der sich an den Lidern erhebt. Dieser Rand wirkt [illegible] kleines Prisma oder eine Reihe kleiner Prismen von veränderlichem Winkel, [illegible]kt das ihn treffende Licht stark von seinem Wege ab.

[illegible] Messungen, welche von älteren Physikern über die Ungleichheit der Brenn[illegible]rizontal und vertical divergirender Strahlen ausgeführt worden sind, haben nur [illegible]risches Interesse. Bei einigen fehlen diese Abweichungen ganz und gar, wie Brücke[1], und wo sie vorkommen, zeigen sie sich in entgegengesetztem Sinne. Young giebt an, dafs sein Auge zu einem Focus sammele vertical divergirende [illegible] 10 engl. Zoll (304 mm) entfernten leuchtenden Punktes, und horizontal [illegible] eines 7 Zoll (213 mm) entfernten. Um die Gröfse dieses Unterschieds un[illegible] den Sehweiten seines Auges auszudrücken, berechnet er die Brennweite [illegible], welches im Stande wäre, als Brille gebraucht, die eine Entfernung auf die [illegible]reduciren, und findet 23 engl. Zoll (700 mm). Um den Fehler seines Auges [illegible], würde er ein Brillenglas mit einer convexen Cylinderfläche von horizontaler [illegible] solches mit einer concaven Cylinderfläche und verticaler Axe von der [illegible] Gröfse der Brennweite gebraucht haben. A. Fick fand, dafs er 4,6 m ent[illegible]allinien und 3 m entfernte Horizontallinien gleichzeitig deutlich gesehen [illegible] selbst sehe gleichzeitig deutlich 0,65 m entfernte Verticallinien und 0,54 m Horizontallinien. Der Sinn der Abweichung ist in diesen beiden Fällen der [illegible] wie bei Th. Young, die Gröfse eine viel geringere. Durch die Focal[illegible] cylindrischen Linse ausgedrückt, entspricht die Abweichung in Fick's Auge [illegible] von 8,6 m und in meinem Auge 3,19 m. Dergleichen Messungen sind [illegible], indem man etwa ½ Zoll über einem horizontalen, hinreichend langen [illegible] feine Nähnadel horizontal befestigt, und indem man sie vom Ende des [illegible] betrachtet, eine verticale Nadel vor ihr oder hinter ihr in solcher Ent[illegible], dafs beide gleich deutlich erscheinen.

F[illegible]k fand, dafs ein unbefangen blickendes Auge sich meist für Verticallinien [illegible] Um annähernd die Entfernung der beiden Brennebenen berechnen zu [illegible], wir annehmen, dafs Listing's schematisches Auge für Verticallinien [illegible] Machen wir die Abweichung der horizontal und vertical divergirenden

[1] [illegible] S. 211. Berlin 1847.

Strahlen darin ebenso grofs wie bei den genannten drei Beobachtern, so würde lie der Brennpunkt für horizontale Strahlen nach den Angaben von

Th. Young . . 0,422 mm vor dem anderen,
A. Fick . . . . 0,035 mm } hinter dem anderen.
H. Helmholtz 0,094 mm }

Diese Abweichungen sind, wie man sieht, kleiner als die des rothen und violetten Bre punktes (0,6 mm). Sie beeinträchtigen die Schärfe des Sehens auch so lange nicht s wesentlich, als es darauf ankommt, Linien von einander zu unterscheiden, die irg einer Hauptrichtung folgen. Nur wo gekreuzte Linien gleichzeitig scharf gesehen wer sollen, treten sie hindernd auf. Die sehr ausgedehnte neuere Literatur über die Gegenstand ist theils schon gegeben, theils wird dies am Schlufs des Werkes gescheh

146 Die mehrfachen Bilder eines Punktes oder einer Linie bei ungenauer Accom dation haben schon de la Hire[1] und Jurin[2] erwähnt, ohne aber die richtige Erklär zu finden. Später beschrieb und bildete Th. Young[3] die Form der Zerstreuungsfigu ab bei verschiedener Entfernung des leuchtenden Punktes, und spricht die Vermuth aus, dafs die Strahlen von leichten Ungleichförmigkeiten der vorderen Linsenflä herrühren möchten. Später erwähnt sie Hassenfratz[4], welcher denselben Grund vor setzt und sie als Schnittlinien von zwei kaustischen Flächen bezeichnet. Purkin beschreibt die Erscheinungen der mehrfachen Bilder, ferner die, welche beim Anscha feiner paralleler Linien eintreten, und bildet die Sternfigur ab; er glaubt sie am be von Hornhautfacetten ableiten zu können. Mehrfache Bilder einer hellen Linie auch Péclet[6] gesehen und erkannt, dafs sie durch eine besondere Structur der brechen Flächen veranlafst sein müfsten. Ebenso Niedt[7], Guérard[8], Fliedner[9]. Letzterer die hierher gehörigen Erscheinungen ausführlich in ihrem Zusammenhange beschrieb Trouessart[10] glaubt einen netzförmigen dunklen Schirm hinter den brechenden Fläc des Auges annehmen zu müssen, deren mehrfache Öffnungen nach dem Principe Scheiner'schen Versuchs die mehrfachen Bilder veranlafsten. Die Ansicht über Entstehung von A. Fick[11] ist oben schon erwähnt. Erwähnt werden hierher gehör Erscheinungen noch von Aimée[12] und Cranmore[13]. Eine ganz eigenthümliche Ans über den Ursprung der mehrfachen Bilder, die *Polyopia monophthalmica* der Augenär hat Stellwag von Carion[14] aufgestellt. Er glaubte beobachtet zu haben, dafs die schiedenen Bilder nach verschiedenen Richtungen polarisirtes Licht erhalten. Indes ist dies nicht richtig; Herr Carion ist bei seinen Versuchen wahrscheinlich durch schlecht geschliffene Turmalinplatte mit schwach gewölbten Flächen oder Streifen Innern getäuscht worden. Eine schwach cylindrische Fläche einer solchen Platte wür vor das Auge gehalten, bald in horizontaler, bald in verticaler Richtung die Strahlen Vereinigung bringen und dadurch einzelne der Doppelbilder beseitigen können. den Einflufs solcher Mängel der Platte aufzuheben, stelle man sie zwischen das L und einen Schirm mit enger Öffnung, so dafs polarisirtes Licht durch die Öffnung f während der Beobachter diese Öffnung aus hinreichender Entfernung betrachtet, um

---

1 Ph. de la Hire, *Accidens de la vue.* p. 400.
2 J. Jurin, *Smith's Optics. Essay on distinct and indistinct vision.* p. 156.
3 Th. Young, *Philos. Transactions.* 1801. I. p. 43. Pl. VI.
4 J. H. Hassenfratz, *Ann. de Chimie.* 1809. T. LXXII. p. 5.
5 J. E. Purkinje, *Beiträge zur Kenntnifs des Sehens.* Prag 1819. S. 113--119. *Neue Beiträge zur K nifs des Sehens.* S. 139—146. 173.
6 J. C. E. Péclet, *Ann. d. Chimie et d. Phys.* LIV, 379. — *Poggendorff's Ann.* XXXIV. S.
7 Niedt, *De dioptricis oculi coloribus ejusque Polyopia. Dissert.* Berolini 1842.
8 Guérard, *Institut.* 1845. No. 581. p. 64.
9 C. Fliedner, *Poggendorff's Ann.* LXXXV. S. 321. 460. LXXXVI. 336. *Cosmos,* I. 
10 Trouessart, *C. R. de l'Acad. d. sciences.* XXXV. 134—136. 398. *Archive de Genève.* XX. 1852. p. 304.
11 A. Fick, *Henle u. Pfeuffer Zeitschrift.* N. Folge V. S. 277.
12 Aimée, *Ann. d. Chimie et d. Physique.* LVI. 108. *Poggendorff's Ann.* XXXIII. S. 479.
13 Cranmore, *Philos. Magazine.* (3) XXXVI. 485.
14 Stellwag von Carion, *Wiener Sitzungsberichte.* VIII. 82. *Denkschriften d. k. k. Akad.* V. 2

[illegible] sehen. Man lasse nun die polarisirende Platte herumdrehen, so daſs die [illegible] des Lichts wechselt. Dann ist nicht der geringste Einfluſs der [illegible] auf die Doppelbilder zu erkennen. Übrigens lassen sich die von [illegible] gewonnenen Resultate auch nicht mit den bekannten Gesetzen der [illegible] vereinigen. Widerlegt worden ist er durch GUT[1]. Die medicinische [illegible] über das pathologische Vorkommen auffallenderer *Diplopia monophthalmica* [illegible] in dem Aufsatze von CARION zusammengestellt.

[illegible] der Diffractionserscheinungen des Auges sind Beobachtungen gemacht von BOUDRI- [illegible] WALLMARK, BEER[4]. Die Lichtstreifen, welche bei halb vorgeschobenen Augen- [illegible] durch den concaven Thränenrand an ihren Rändern entstehen, hat MEYER[5] (in [illegible]) besprochen.

Die Asymmetrie des Auges in seinen verschiedenen Meridianebenen finde ich zuerst [illegible] TH. YOUNG[6] besprochen, welcher dabei anführt, daſs ein Herr CARY ihm als That- [illegible] angeführt habe, daſs viele Personen ihre Brillengläser schief gegen das Auge halten [illegible] gut durch sie zu sehen. Weitere darauf bezügliche Beobachtungen finden [illegible] AIRY[7], FISCHER[8], CHALLIS[9], HEINEKEN[10], HAMILTON[11], SCHNYDER[12], welcher Letz- 147 [illegible] dagegen verfertigen lieſs, endlich A. FICK[13]. Eine vollständigere [illegible] der älteren Beobachtungen findet sich in FECHNER's Centralblatt [illegible] 1853 (p. 73 85. 96—99. 374—370. 558—564). Seitdem DONDERS[14] auf die n [illegible] Astigmatismus bedingten Sehstörungen hinwies, bildet die Bestimmung des Astig- [illegible] regelmäſsigen Theil der augenärztlichen Untersuchungen.

Die Frage nach der sphärischen Abweichung des Auges in dem Sinne, wie dieser 147 [illegible] künstliche Instrumente gebraucht wird, verliert neben den beschriebenen [illegible] Abweichungen, die im Auge vorkommen, ihre Wichtigkeit. Auſser der im [illegible] Paragraphen schon erwähnten Beobachtung von TH. YOUNG mit seinem Optometer, [illegible] Faden, durch vier Öffnungen gesehen, vierfach erschien und sich die vier [illegible] Fäden bei der Accommodation für die Nähe nicht in einem [illegible] auch VOLKMANN[15] sich bemüht, durch Versuche über die Frage zu [illegible] das Auge sphärische Aberration besitze. Er und einige andere Personen [illegible] mit vier Öffnungen, die in einem Bogen standen, nach einer [illegible] Entfernungen vom Auge gebracht wurde. Wenn das Auge [illegible] vereinigt als die Randstrahlen, werden sich bei dem Ver- [illegible] Nadel vom Auge entfernt und dem Punkte des deutlichen Sehens [illegible] der Nadel, welche den mittleren Öffnungen angehören, eher vereinigen [illegible]. Werden die Randstrahlen eher vereinigt als die Central- [illegible] umgekehrt sein. VOLKMANN fand bei verschiedenen Individuen in [illegible] entgegengesetztes Verhalten. Bei regelmäſsig gebildeten brechenden [illegible] angegebenen Versuche von YOUNG und VOLKMANN in der [illegible] Gröſse der sphärischen Abweichung des Auges Aufschluſs geben.

[illegible] Zürich 1854.
[illegible] XXXIII [illegible] No. [illegible] II [illegible]
[illegible] LXXXII. 120
[illegible] LXXXIV. [illegible]
[illegible] LXXXIX [illegible]
[illegible]
[illegible] XIV [illegible]
[illegible]
[illegible] II [illegible] XXX
XXII [illegible]
[illegible] VII [illegible]
[illegible]
[illegible] Magdeburg [illegible]
[illegible] II [illegible]
[illegible] Chapter VIII
[illegible]

Indessen werden in den meisten Meridianebenen der meisten Augen die Punkte, gebrochenen Strahlen den Centralstrahl treffen, gar keine continuirliche Reihe bil dafs der Begriff der sphärischen Abweichung hier gar nicht pafst.

## § 15. Die entoptischen Erscheinungen.

Das in das Auge einfallende Licht macht unter gewissen Bedin eine Reihe von Gegenständen sichtbar, welche sich im Auge selbst be Solche Wahrnehmungen nennt man entoptische. Unter gewöhnliche ständen werfen kleine dunkle Körper, die im Glaskörper oder der und wässerigen Feuchtigkeit schweben, keinen sichtbaren Schatten werden deshalb nicht bemerkt. Der Grund davon ist, dafs durch Theil der Pupille meist gleichmäfsig Licht eindringt, und somit für Leuchtung der hinteren Augenkammer die ganze Pupille gleichsa leuchtende Fläche bildet. Es ist aber bekannt, dafs, wenn Licht vo sehr breiten Fläche ausgeht, nur breite Gegenstände, oder solche stände, welche der den Schatten auffangenden Fläche sehr nahe sind, sichtbaren Schatten werfen.

Nun giebt es im Auge allerdings Gegenstände, nämlich die Gefä Netzhaut, welche sehr nahe vor der lichtempfindenden Fläche des sich befinden, und daher immer einen Schatten auf die dahinter lie Theile der Netzhaut werfen. Aber eben weil diese Theile der Ne hinter den Gefäfsen immer beschattet sind, und der beschattete Zusta sie der normale ist, nehmen sie ihn nur unter besonderen Umständen welche wir weiter unten näher besprechen wollen.

Zunächst wende ich mich zu den in den durchsichtigen Mitte Auges enthaltenen kleinen schattengebenden Körpern. Um sie wahrzun mufs man Licht von einer sehr kleinen leuchtenden Stelle, welche sic nahe vor dem Auge befindet, in das Auge fallen lassen. Zu dem Z kann man entweder das im Focus einer kleinen Sammellinse entw Bild einer fernen Lichtflamme nahe vor das Auge bringen, oder ein gut polirtes metallisches Knöpfchen, v von der Sonne oder einer Lam schienen wird, oder einen Schir dunklem Papier, welcher Licht eine sehr kleine Öffnung fallen läfs zweckmäfsigsten ist es, eine Samm von grofser Apertur und kleiner weite *a Fig. 89* aufzustellen; vor einiger Entfernung eine Lichtflam von der die Linse in ihrem Brenn ein verkleinertes Bild entwirft. Dan man hier einen undurchsichtigen dunklen Schirm *c* mit kleiner Öffn auf, dafs das Bild der Flamme auf diese Öffnung fällt. Durch die Ö

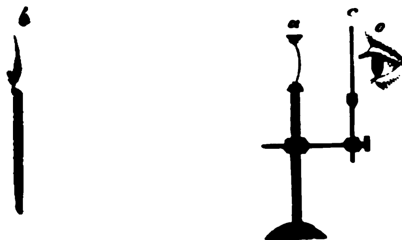


Fig. 89.

...nn ein breiter Kegel divergirender Strahlen. Ein Auge *o*, welches ...ung sehr genähert wird, erblickt durch sie hindurch die breite, ...fsig erleuchtete Fläche der Linse, auf welcher sich nun mit grofser 149 ...keit die entoptisch wahr...nden Gegenstände dar... Wenn wie in *Fig. 90* ...tende Punkt *a* zwischen ...e und seinem vorderen ...nkte *f* liegt, entwerfen ...nmedien ein entfernte... dem Auge liegendes ...on *a*, und die Strahlen

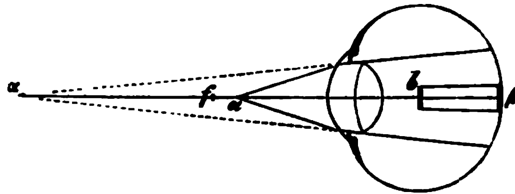


*Fig. 90.*

...gen den Glaskörper in Richtungen, welche von *a* aus divergiren. ...esen Umständen wird von einem im Glaskörper befindlichen dunklen ...b ein Schatten *β* auf der Netzhaut entworfen, welcher gröfser ist

...n wie in *Fig. 91* der leuchtende Punkt ...nderen Brennpunkte des Auges liegt, ...die von *a* ausgegangenen Strahlen im ...er parallel sein, und von einem im Glas...efindlichen dunklen Körperchen *b* wird ...tten *β* von gleicher Gröfse entworfen. ...lich der leuchtende Punkt vom Auge ...tfernt als der vordere Brennpunkt des

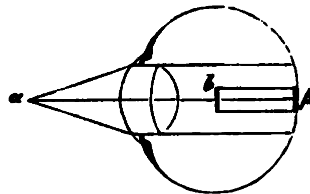


*Fig. 91.*

...wie in *Fig.* ...llt das Bild ...inter das ...ch *a*, und ...len conver... Glaskörper ...hin. Der ...*β* von *b* kleiner als *b*.

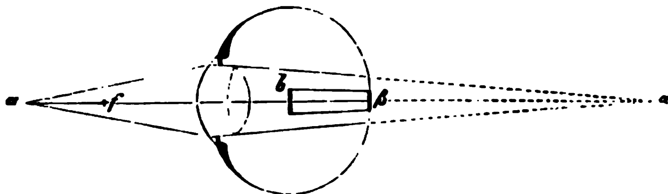


*Fig. 92.*

...n entsprechend bemerkt man, dafs die entoptisch sichtbar gewordenen ...nde sich scheinbar vergröfsern, wenn man das Auge dem leuchtenden ...ähert; sich verkleinern, wenn man es von ihm entfernt.

...bei diesen Versuchen beleuchtete Stelle der Netzhaut ist der Zer...kreis des leuchtenden Punktes. Auf diesem werden die Schatten ...ptisch wahrgenommenen Gegenstände entworfen. Diese Schatten ...r scharf genug, dafs man die Gestalt der Objekte ziemlich gut er...ann, wenn die Lichtquelle klein genug ist, aber sie bilden doch ...anz vollkommen scharfe Bilder, weil das Licht in Wirklichkeit doch ...n einem einzigen Punkte, sondern stets von einer, wenn auch kleinen, ...en Fläche kommt. Das von den Augenmedien entworfene Bild

Indess ... zu entwerfenden Schatten
gehör... Ausdehnung haben wird. Wahr...
dass ... nete Schatten entwerfen wird
... atten, deren Umrisse allmälig du...
148 ... und die deshalb minder scharf ...
... n deshalb die entoptischen Wa...
... feiner die Öffnung ist, durch wel...
... aher der schattengebende Körper ...
... muss man bei engeren Öffnungen au...
... nutzen. Außerdem kommt bei s...
... Erscheinung zum Vorschein, welche ...
... htigt. Es bilden sich nämlich dar...
... enden Körpers Diffractionsfransen, he...
... isse des Schattens folgen. Dergleich...
... wo punktförmige, hinreichend intensi...
... Bei den gewöhnlichen Lichtquellen ...
... Fransen im Halbschatten.

... achtende Punkt seine Stellung verände...
... ier Körper, welche verschieden weit ...
... iedener Weise, und nehmen dadurch ei...
... Man kann, wie LISTING gezeigt ha...
... n Ort im Auge ungefähr zu bestimmen, ...
... chen befinden. Das entoptische Gesich...
... förmigen Schatten der Iris. Wenn wir na...
... s kreisförmigen Feldes fixiren, verschieb...
... welche nicht in der Ebene der Pupi...
... Begrenzung des Gesichtsfeldes. Diese ...
... ptischen Gesichtsfelde nennt LISTING ...
... er nennt sie positiv, wenn die ...
... us die gleiche Richtung hat mit der Richtu...
... entgegengesetzte Richtung hat. Die relati...
... für Objecte, welche in der Ebene der Pupi...
... der Pupille, negativ für Objecte vor ...
... der Netzhaut sehr nahe liegen, ist die V...
... so groß wie die des Visirpunktes, so d...
... Bewegungen ... hin begleiten, wenn
... en in der Flüssigkeit des Glaskörpers ...

... ist ... wie der schatt...
... der Netzhaut ... ist, im Gesichtsf...
... die entoptisch gesehenen Gegenstände

... kann ...



Begrenzt ist das helle Feld durch den Schatten der Iris; es ist
› nahe kreisrund, entsprechend der Form der Pupille. Hat der
rrand der Iris Einschnitte, Falten oder Vorsprünge, wie dies in vielen
der Fall ist, so sind dergleichen auch in dem entoptischen Bilde zu
en. Auch die Erweiterung und Verengerung der Pupille kann man
sch beobachten, am leichtesten, wenn man das andere Auge ab-
lnd mit der Hand verdeckt und wieder frei läfst. Sobald Licht in
Auge fällt, verengern sich die Pupillen beider Augen, und man er-
diese Verengerung leicht im entoptischen Bilde.

Von den Flüssigkeiten herrührend, welche die Hornhaut überziehen
enfeuchtigkeit, Secret der Augenliderdrüsen), nimmt man oft im ent- 151
en Gesichtsfelde Streifen wahr, wolkig-helle oder lichtere Stellen,
ähnliche Kreise mit heller Mitte, welche durch Blinzen mit den
idern schnell verwischt und verändert werden. Dergleichen sind dar-
t in *Taf. I. Fig. 2.* Sie sind meist in schnellem Zerfliefsen begriffen und
eine selbständige Bewegung von oben nach unten. Die Streifen sind
irksten ausgeprägt dicht am Rande der Augenlider, wenn man die
ver die Pupille treten läfst, und sind der Ausdruck der capillaren con-
Flüssigkeitsschicht, welche sich von der Hornhaut auf den Rand der
lider herüberzieht. Die Tropfen entstehen wohl durch capilläre An-
gen der feuchten Schicht um Schleimklümpchen, Staubtheile u. dgl.
elle Stelle in der Mitte der Tropfen bildet oft ein unvollkommenes
es Bild von der Lichtquelle, ist z. B. dreieckig, wenn das Licht durch
reieckige Öffnung in das Auge fällt. Dies Bild der Lichtquelle steht
ar aufrecht im entoptischen Gesichtsfelde, während es auf der Netz-
erkehrt sein muss. Die Ansammlungen von Flüssigkeit auf der Horn-
ilden hierbei kleine Convexlinsen, welche hinter sich ein umgekehrtes
er vor ihnen liegenden Gegenständen entwerfen. Der Bewegung dieser
e im Gesichtsfelde von oben nach unten entspricht eine wirkliche
ang nach oben, welche wohl dadurch bedingt wird, dafs das obere
lid, während es gehoben wird, die zähen Schleimtheile nachzieht.

Die kraus gewordene Vorderfläche der Hornhaut, nachdem man eine
ng das geschlossene Auge mit den Fingern gedrückt oder gerieben
lan sieht ziemlich gleichförmig vertheilt gröfsere, unbestimmt begrenzte,
oder netzartig geordnete Linien und getigerte Flecken, die sich eine
stunde bis zu einigen Stunden halten. Es sind dergleichen dargestellt
*I. Fig. 3.* Zuweilen bleiben auch in dem Netze dieser Linien einzelne
nierte glatte Stellen stehen, welche darauf schliefsen lassen, dafs hier
rnhaut eine andere Art der Consistenz habe.

ufserdem finden sich, von der Hornhaut herrührend, zuweilen constante
Flecken und Linien vor, welche sich nicht ändern und wohl meist
von Entzündungen und Verletzungen sind.

ier vorderen Kapselwand, und d
...ühren mannigfache Erscheinungen l
...rmen:
.. rundliche Scheibchen, innen hell.
...en bald Luftbläschen, bald Öltropfen, l
.. durch das Mikroskop sieht (s. *Taf. I. Fig.*
...ssen in der MORGAGNI'schen Feuchtigkeit.
...erscheiden sich von den vorigen durch
...nd auch durch gröfsere Mannigfaltigkeit
...e Verdunkelungen der Kapsel oder Linse

...ist einen unregelmäfsigen Stern mit wenig A
...ichtsfeldes darstellend (*Taf. I. Fig. 6*). LISTING l
... eiförmigen Gebildes mit naht- oder wulstähnlic
... Kapselmembran, herrührend von der im Fö
...ung dieses Kapseltheils von der Innenseite

...inien (*Taf. I. Fig. 7*), welche wohl Andeutun
... Linse sind.
...genannten Formen scheinen fast in jedem Auge si
...ugen sind ganz frei davon.

...ebilde im Glaskörper, die sogenannten flieg
...*olantes*), welche theils als Perlenschnüre, theils
...engruppirte Kreise mit hellem Centrum, theils
...en sehr feiner Kügelchen, theils als blasse Strei
...er sehr durchsichtigen Membran, erscheinen. Da v
... vor der Netzhaut sich befinden, sieht man sie oft o
...dem man nach einer breiten, gleichmäfsig erleuchte
...llen Himmel, blickt. Dafs sie sich nicht blos scheinl
...wegen, bemerkt man leicht, wenn man bei aufrech
... z. B. durch eine Fensterscheibe, nach dem Him
...it einem Merkzeichen versehenen Punkt des Gla
...man die entoptischen Erscheinungen meistens langs
...absinken. Senkt man den Blick und hebt ihn wied
...ei dieser Bewegung des Visirpunktes, schiefsen a
...er das Ziel hinaus und sinken dann wieder. Nach ei
...es dagegen, welche von oben nach unten gerichtet
...chwanken über das Ziel hinaus nicht ein, auch nicht
...en Beobachtet man dagegen bei senkrecht nach un
...er Gesichtslinie, so liegen die Mücken ziemlich ruh
...t sich aber bei diesen Beobachtungen verleiten, (
...neben dem Gesichtspunkt naheliegenden Mücke rich
... durch direkte Fixation deutlicher zu sehen. Dann fli
...Entfernung vor dem Visirpunkte einher, ohne natürlich

erreicht werden zu können. Gerade auf diese Eigenthümlichkeit :heinung bezieht sich wohl der Name der *Mouches volantes*. Man sle diese scheinbare Bewegung nicht mit einer wirklichen, und achte Beobachtungen der letzteren darauf, einen äufseren Gesichtspunkt t zu fixiren.

solche bewegliche Objecte mit Ruhe betrachten zu können, wählt i besten eine Lage des Kopfes, wo das Auge vertical nach unten ch oben sieht, weil dann die Bewegungen der schwimmenden Kör- aufhören. Übrigens kann man Mücken, welche seitlich im Gesichts- egen, zwingen, nach der Stelle des deutlichsten Sehens heranzu- nen. wenn man das Auge erst recht schnell in der Richtung bewegt, lcher sie vom Visirpunkt aus liegen und dann langsam zurückbewegt.

NDERS und DONCAN[1] unterscheiden folgende Formen dieser Objecte:

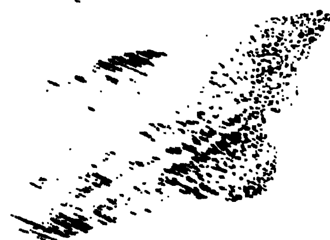
Gröfsere isolirte Kreise, bald mit dunkleren, bald mit blasseren n, in der Mitte heller, meist noch mit einem schmalen Lichtkreis n. Sie haben zwischen $^1/_{28}$ und $^1/_{120}$ mm Durchmesser und sind $^1/_3$ der 4 mm von der Netzhaut entfernt, kommen aber auch in der er. Ist das Auge lange ruhig gewesen, so zeigen sich nur wenige; men namentlich, und zwar scheinbar von unten her, zum Vorschein eine schnelle Bewegung des Auges von unten nach oben, der plötz- Stillstand folgt. und senken sich dann wieder langsam nach unten. wegung kann für die dunkelsten in einer Ausdehnung von $1^1/_2$ mm beobachtet werden und ist wahrscheinlich viel ausgedehnter. Ihre n Bewegungen bei seitlichen Bewegungen des Auges findet DONCAN akt. In meinen eigenen Augen kann ich einen solchen Unterschied ahrnehmen. Wenn ich den Kopf auf die Seite lege, so finde ich, Mücken jetzt ebenso schnell und weit scheinbar nach dem Erdboden en, in Wirklichkeit nach dem aufwärts gewendeten Augenwinkel em- en, wie bei aufrechter Haltung des Kopfes. Bei der letzteren Haltung en die seitlichen Bewegungen der Mücken allerdings beschränkter absteigenden, weil sie seitlich eben nur die Bewegungen des Visir- mitmachen. Eine Bewegung derselben parallel der Gesichtslinie icht zu constatiren. Viele, obgleich scheinbar von einander getrennt. sich immer in gleichem Abstande zu begleiten, oder bleiben in n Beziehung zu andern Formen, so dafs man berechtigt ist, auf einen 154
ren Zusammenhang zu schliefsen. Ihnen entsprechend fand DONCAN roskopischer Untersuchung des freigelegten und unverletzten Glas- von seiner Oberfläche aus darin blasse Zellen, welche in der Ver- g in Schleimstoff begriffen zu sein schienen, wie in *Fig. 93.* abge- nd.

---

[1] NCAN *Dissert. de corporis vitrei struct.* *Trajecti ad Rhenum* 1854. — *Onderzoekingen gedaan in het Laborat. der Utrechtsche Hoogeschool.* Jaar VI. 171.

4) Von der Li … isten Augen vor; Doncan ko
vorderen Theile de … ¹/33 bis ¹/190 mm, ihre Li
152 Listing beschreib … Die schmalsten liegen gewöhn
a) Perlfleck … breiteren und dunkleren entfer
scharfem, dunkle … haut. in ¹/4 bis 3 mm Abstand.
Krystallchen äh … ist meist dieselbe wie der vo
Listing hält … Kreise, doch sind sie zuweilen
b) Dunk … inzelne sind isolirt, andere hängen
Mangel eines … ihen zusammen. Sie entsprechen Fas
Gestalt. Si … rnern besetzt sind (*Fig. 94*), we
sein (s. *Ta* … Mikroskop im Glaskörper gefun
c) He …
läufern in … zusammenhängenden Gruppen von
sie für d … kleineren, theils blassen, theils dun
Zweigen … welche den mikroskopisch gefunde
zustande … (*Fig. 95*) entsprechen, sind n
Hornhau … scheinender als die übrigen Formen,
d … Körner in der Richtung der Gesicht
des st … nander liegen. Diese sind es, die am
E … beim gewöhnlichen Sehen als *Mouches*
bar z … wahrgenommen werden. Nicht selten sche
… der Nähe der Gesichtslinie einen Gleic
den … nehmen; aber sie kommen doch auch bei
ver … auf gleiche Weise und in gleicher Richt
nur … ungen wie die Perlschnüre, in gröfserer M
äh … das Gesichtsfeld in der Folge wieder zu
Vo …
w … zeigen sich in Gestalt hellerer Bänder,
… scharf gezeichneten Linien begrenzt. Do
… noch wieder zwei Formen. Einige ze
… ähnlich einer stark gefalteten Faser,
… einander sehr nahe, auf unsichtbare W

15.



mit einander verbunden, oder als
unregelmäfsig aufgerolltes, in den
schiedensten Richtungen gefal
Häutchen, das seine Form cons
behält, wie das nach einer mikro
pischen Beobachtung in *Fig. 96*
gestellte. Diese bewegen sich wie
Perlschnüre und liegen nur 2¹/
4 mm von der Netzhaut entfernt
Davon unterscheiden sich sehr
… dicht hinter der Linse liegen, theils n
… Netzhaut entfernt, während zwischen 4 und 10

fernung von der Netzhaut keine getroffen werden. In den ersteren zeigen
Falten von nicht weniger als $^1/_{25}$ mm Breite, in den letzteren haben
selten mehr als $^1/_{60}$ mm. Sie kommen zum Vorschein, wenn die Gesichtslinie seitwärts bewegt wird, aber namentlich auch durch eine kräftige,
plötzlich abgebrochene Bewegung von oben nach unten. Scheinbar steigen
dabei die dicht hinter der Linse gelegenen Falten nach oben, während
umgekehrt die in der Nähe der Netzhaut gelegenen nach unten sinken, so
daß sie sich in der Gesichtslinie an einander vorbei schieben. Meist sieht
man die gefalteten Häute mehr und mehr undeutlich werden, ohne daſs
sie doch aus dem Gesichtsfelde sich entfernten, und doch kommen sie durch
Wiederholung der Bewegung aufs neue deutlicher zum Vorschein. DONCAN
schließt daraus, daſs diese Häute nur scheinbar eine so ausgebreitete Bewegung haben, und daſs nicht die Häute sich fortbewegen, sondern nur
Schwingungen sich fortpflanzen, welche sich bei der plötzlich unterbrochenen
Bewegung des Auges an der Peripherie formen und sich bis an das andere
Ende der Häute ausstrecken, wobei sie ihre Schärfe verlieren und minder
sichtbar werden. Die Ursache der verschiedenen Richtung, worin die Bewegung dieser Häute und die Fortpflanzung der Falten stattfindet, ist darin
zu suchen, daſs die einen vor, die anderen hinter dem Drehpunkte des
Auges liegen. Wenn man die Pupille durch Atropin erweitert, oder den
leuchtenden Punkt sehr nahe an das Auge bringt, so daſs man ziemlich
weit zur Seite der Gesichtslinie sehen kann, so bemerkt man, daſs namentlich bei kräftigen, plötzlich unterbrochenen seitlichen Bewegungen des Auges
noch mehr Häute dicht hinter der Linse zum Vorschein kommen, die selten
bis an die Gesichtslinie reichen, und mit einem unregelmäſsigen, zuweilen
gefranzten Rande hier endigen.

Die Bewegungsart der frei beweglichen Objecte des Glaskörpers läſst
wohl kaum einen Zweifel, daſs sie kleine Körper sind, welche in einem
vollkommen flüssigen Medium schwimmen und specifisch leichter sind als
diese Flüssigkeit. Da man sie oft durch das ganze entoptische Gesichtsfeld
schwimmen sieht, und sie in meinem Auge wenigstens das Gesichtsfeld
ebenso gut von oben nach unten, wie von rechts nach links durchschwimmen,
dieses aber bei divergirend einfallendem Lichte einen gröſseren Theil der
Netzhaut umfaſst, als die Pupille beträgt, so muſs das Bassin, in welchem
sie sich bewegen, längs der Netzhaut gemessen, jedenfalls gröſser sein als
die Pupille. Dagegen scheinen die schwimmenden Körper sich nicht von
der Netzhaut entfernen zu können, denn auch bei aufwärts gerichteter Gesichtslinie, wo die Objecte wegen ihrer specifischen Leichtigkeit streben
müssen nach der Linsenseite des Glaskörpers hin zu schwimmen, sieht man
dieselben Objecte sich längs der Netzhaut hin bewegen, aber nicht von ihr
weg. Das Hinderniſs mögen wohl die Membranen sein, deren Falten man
im entoptischen Gesichtsfelde sieht und welche der Netzhaut parallel zu
liegen scheinen. Einige solche Körperchen scheinen auch an der Glashaut
befestigt zu sein, wie denn DONDERS mittheilt, daſs er in der Gesichtslinie

...es dort seinen Gleichgewichtssta
...scheinbar steigen, aber nicht wir
...a her durch eine fadenähnliche Ve
...zu werden scheint.

...ihe entoptischer Beobachtungen d
...nen, und bemerkt man, dafs imm
...rt, welche sich nach DONDERS' Be
... erhalten. Aus der mikroskopisch
...t hervorzugehen, dafs diese Gebil
...skörpers sind. Bei Embryonen beste
...tens in Schleim zerfliefsen, während e
...Kernen, oder den Fasern, zu denen s

...nehmung der Netzhautgefäfse. f
...ungsweisen nothwendig sind, als für d
...enen entoptischen Objecte. Das Gemei
..., dafs die Lage oder Breite des Schatte
...ere Fläche der Netzhaut werfen, eine ung
...dem eine stete Bewegung dieses Schatte
...kann die Netzhautgefäfse nach folgend

... Licht, am besten Sonnenlicht, durch ei
...ite auf einen Punkt der äufseren Fläc
der Sclerotica möglichst entfernt v
der Hornhaut, so dafs ein klein
aber sehr lichtstarkes Bildchen d
Lichtquelle auf der Sclerotica entw
fen wird. Wenn dabei das Auge a
ein dunkles Gesichtsfeld blickt, wi
dieses ihm jetzt rothgelb erleucht
scheinen und darin ein Netz baum
förmig verästelter dunkler Gefässe e
scheinen, entsprechend den in *Fig* 9
nach einem Injectionspräparate abge
bildeten Netzhautgefäfsen. Wenn de
Brennpunkt auf der Sclerotica hin u
her bewegt wird, bewegt sich auc
der Gefäfsbaum hin und her, und zwa
bewegen sich beide gleichzeitig nac
oben, oder beide gleichzeitig nach unte
oder beide nach rechts oder links. B
...fäfsbaum deutlicher zu sehen, als wenn m
...t Linse auf einer Stelle beharren läfst:
...er zuletzt ganz. Doch ist bei der jetzt b

benen Methode der Beobachtung anhaltende Bewegung weniger nöthig i den anderen Methoden. Je kleiner übrigens der helle Fleck auf clerotica ist, desto stärker sind auch die kleineren Zweige der Gefäßelung ausgeprägt, so daß man bei richtiger Ausführung des Versuchs inste Capillargefäßnetz zur Anschauung bringen kann. In der Mitte 157 esichtsfeldes, dem Fixationspunkte entsprechend, findet sich eine gee Stelle, gegen welche verschiedene größere Aeste hinlaufen, deren rgefäße einen Ring mit langgezogenen Maschen um die genannte bilden. Die Stelle selbst hat in H. MÜLLER's, sowie in meinen beiden ein eigenthümliches Aussehen, wodurch sie sich von dem übrigen e des Auges unterscheidet. Der letztere ist gleichmäßig erleuchtet, snahme der dunklen Gefäßsfigur, die Stelle des directen Sehens hat stärkeren Glanz und sieht dabei wie chagrinirtes Leder aus. Zu ben ist übrigens noch, daß, wenn man während der Beobachtung dieser einen äußeren Gegenstand fest fixirt, und nun den Brennpunkt der auf der Sclerotica nach oben bewegt, der Gefäßsbaum, wie vorher erist, sich ebenfalls nach oben bewegt, der chagrinirte Glanz sich da ein wenig in entgegengesetzter Richtung nach unten gegen den punkt des Auges verschiebt. MEISSNER hat diese Stelle ebenfalls ieser Beobachtungsmethode heller gesehen, schreibt ihr aber einen n halbmondförmigen Schatten am Rande zu, ähnlich wie er bei der n Beobachtungsmethode sichtbar wird. Einen solchen sehe ich nicht, das Licht durch die Sclerotica einfällt.

Bei diesem Versuche dringt das Licht durch die Sehnen- und Aderhaut Auge. Die erstere ist durchscheinend, die letztere im hinteren des Auges nicht so stark pigmentirt, daß sie alles Licht abhalten e. Vorn auf den Ciliarfortsätzen ist die Pigmentschicht stärker, daher bei unserem Versuche die Erleuchtung der Netzhaut ziemlich schwach t, wenn man den Brennpunkt auf den vorderen Theil der Sclerotica der Hornhaut fallen läßt. Die erleuchtete Stelle der Augenhäute nun die Lichtquelle für das Innere des Auges; von ihr gehen nach Seiten hin gleichmäßig Strahlen aus, da das Licht in der nur durchenden Sehnenhaut nicht regelmäßig gebrochen, sondern nach allen hen Richtungen zerstreut wird.

Während gewöhnlich das Licht nur von der Pupille her auf die Netzfällt, kommt es jetzt von einem weit seitlich gelegenen Punkte und deshalb die Schatten der in den vorderen Schichten der Netzhaut nen Gefäße auf ganz andere Theile der hinteren Netzhautfläche st.

Daß der Gefäßsbaum sich scheinbar in gleichem Sinne wie der Brenn der Linse bewegen muß, ist aus *Fig. 98* deutlich. Es sei *v* der schnitt eines Netzhautgefäßes, *k* der Knotenpunkt des Auges. Wenn rennpunkt des einfallenden Lichts bei *a* auf der Sclerotica liegt, fällt chatten des Gefäßes nach *α*, das Auge projicirt demgemäß einen

[illegible] der Richtung $\alpha A$ in das Gesichtsfeld. Liegt der Bren [illegible] der Schatten nach $\beta$, und es wird der dunkle Streif [illegible] nach $B$ verlegt. Während sich also die Lichtquelle [illegible] nach $b$ bewegt, wird der scheinbare Gefäfsstamm i[m] Gesichtsfelde von $A$ nach $B$ in gleicher Richtung wa[n]dern. Die chagrinirte Fläche um den Visirpunkt herum zeigt die entgegengesetzte Bewegungsart; sie entste[ht] also jedenfalls nicht in derselben Weise, wie die G[e]fäfsschatten entstehen. Im Gesichtsfelde greift auf d[er] dem Lichte abgekehrten Seite der Gefäfsbaum etwas üb[er] den Rand der chagrinirten Stelle, oben und unt[en] scheint er den Rand nur zu berühren, dem Lichte [zu]gekehrt ist ein Zwischenraum zwischen beiden, glei[ch]viel ob das Licht vom innern oder äufsern Augenwi[nkel] einfällt. Es ist dies wohl dadurch bedingt, dafs [die] Gefäfsverzweigungen mehr nach vorn liegen als [die] Schicht, welche durch Brechung oder Zurückwerfung d[es] Lichts das chagrinirte Aussehen erzeugt, und daher b[ei] schief einfallendem Lichte der Schatten der Gefäfs[e] [an] der Hinterfläche der Netzhaut nicht senkrecht unter den Gefäfsen lie[gt]. [Die]jenige Structur, welche das chagrinirte Aussehen hervorruft, sch[eint] [de]mnach ziemlich genau dieselbe Ausdehnung zu haben, wie die gefäfsl[ose] Stelle der Netzhaut.



Dieselbe Erscheinung wird auch nach der unter 3) angeführten Meth[ode] [gesehen], nach welcher unter Andern Herr L. Wolffberg[1] sie beobach[tet] und zu Messungen benutzt hat. Derselbe hat die Feinheit der Gra[nulirung] mit der von Körnern und Glasperlen zu vergleichen gesucht, [und] [ge]funden, dafs dieselben der Gröfse nach den Zapfen der Netzhautgrube e[nt]sprechen. Zu der gleichen Meinung ist auch J. P. Nuel[2] gekommen, obgl[eich] seine Gröfsenschätzungen weniger gut zur Gröfse der Zapfen stimmen.

Andere Erscheinungen, die bei intermittirendem Licht gesehen wer[den], deren Beziehung auf Netzhautelemente aber noch sehr zweifelhaft [ist], werde ich in § 23 erwähnen.

[2)] Die zweite Methode zur Beobachtung der Netzhautgefäfse ist folge[nde]. Man blicke auf einen dunklen Hintergrund hin und bewege dabei unterh[alb] oder seitlich vom Auge ein brennendes Licht hin und her. Man sieht d[ann] den dunklen Hintergrund von einem matten weifslichen Scheine überzog[en], in welchem sich der dunkle Gefäfsbaum abzeichnet. Die Figur bleibt [so] lange deutlich, als man das Licht bewegt. Wenn man das Licht [von] rechts nach links bewegt, erscheinen hauptsächlich die von oben [...]

[1] [L.] Wolffberg, *Die entoptische Wahrnehmung der Fovea centralis und ihrer Zapfenmosaik.* Archiv [für] [Augenheilkunde] XVI. 1886.

[2] J. P. Nuel, *De la vision entoptique de la fovea centralis.* Archives de Biologie par Van Beneden et [Van] Bambeke. T. IV. 1884. Annales d'Oculistique. T. XCI. p. 95.

erlaufenden Gefäfse, wenn man es von oben nach unten bewegt, die al verlaufenden. Bei den Bewegungen des Lichts bewegt sich gleicher ganze Gefäfsbaum, aber nicht in allen seinen Theilen gleichmäfsig. ER vergleicht sehr passend die Art der Bewegung des Gefäfsbaums mit dem Ansehen eines vom Wasser entworfenen Spiegelbildes, wenn darüber fortlaufen. Bei näherer Untersuchung der Erscheinung zeigt ifs wenn abwechselnd das Licht gegen die Gesichtslinie hin und von bewegt wird, der Gefäfsbaum im Gesichtsfelde sich in gleicher Richtung s Licht verschiebt. Wenn aber das Licht in Richtung eines Kreisbewegt wird, dessen Mittelpunkt in der Gesichtslinie liegt, verschiebt r Gefäfsbaum in entgegengesetzter Richtung. Wird also z. B. das nter dem Auge gehalten und vertical nach oben und unten bewegt, egt sich auch der Gefäfsbaum im Gesichtsfelde mit dem Lichte zunach oben und nach unten; wird es horizontal unter dem Auge von nach links bewegt, so geht der Gefäfsbaum nach rechts, wenn das nach links, und umgekehrt.

e inneren Äste des Gefäfsbaums erscheinen nicht in so grofser Feinr Zeichnung wie bei den beiden anderen Methoden.

der Mitte, dem Visirpunkte entsprechend, beschreiben mehrere Ber eine helle kreisförmige oder elliptische Scheibe. *Fig. 99.* ist die 159 ng, welche BUROW davon gegeben hat.


*Fig. 99.*

an dem der Flamme zugewendeten durch einen dunklen halbmondförmigen n gesäumt, in der Mitte am hellsten. LER sieht diese Scheibe gar nicht, selbst sehe immer nur den halbmondn Schatten, welcher die dem Lichte rte Seite ihrer Peripherie bildet, wäh- andere Seite keine entschiedene Beg darbietet. Auch diese centrale bewegt sich bei Bewegungen des Man überzeugt sich davon, wenn ahrend man die Erscheinungen wahreinen aufseren Punkt fixirt. Bei mir r Fixationspunkt immer an dem dem zugewendeten Theile des Randes der hellen Scheibe, wenn ich den ndförmigen Schatten meines Auges zur Scheibe ergänzt denke.

e vollständige Theorie dieser Erscheinungen ist von H. MÜLLER n worden, und ist folgende: Die Lichtquelle für die Beleuchtung des Auges ist in diesem Falle das Netzhautbildchen der Lichtflamme, da das Licht weit vom Centrum des Gesichtsfeldes absteht, auf ntheile der Netzhaut entworfen wird. Da das Licht sich übrigens ge sehr nahe befindet, kann sein Netzhautbild ziemlich grofs sein agend viel Licht in den Glaskörper hinein zurückwerfen, um eine

dunklen Streifen in der Richtung $\alpha A$ in d
punkt in $b$, so fällt der Schatten nach $\beta$,
in das Gesichtsfeld nach $B$ verlegt. Wäh
$a$ nach $b$ bewegt, wi
158 Gesichtsfelde von $A$
dern. Die chagrinirt
zeigt die entgegeng
also jedenfalls nicht
fäfsschatten entsteh
dem Lichte abgekeh
den Rand der ch
scheint er den Ra
gekehrt ist ein Z
viel ob das Licht
einfällt. Es ist
Gefäfsverzweigun
Schicht, welche
Lichts das chag
schief einfallen

Fig. 98.

auf der Hinterfläche der Netzhaut
Diejenige Structur, welche das
demnach ziemlich genau dieselbe
Stelle der Netzhaut.

n Dieselbe Erscheinung wird a ... we
sichtbar, nach welcher unter A ... ganz
und zu Messungen benutzt hat
lirung mit der von Körnern u ... der
findet, dafs dieselben der Grö ... es mit
sprechen. Zu der gleichen Mei ... MÜLLER
seine Gröfsenschätzungen weni

Andere Erscheinungen, d ... hatten der
deren Beziehung auf Netzh ... die Netzh
werde ich in § 23 erwähnen. ... efe die Stell
... atbild bei $b$,

158 2. Die zweite Methode z ... n Randes de
Man blicke auf einen dunkl ... ganze Schatten
oder seitlich vom Auge ein ... us dem hellen Bil
den dunklen Hintergrund ... ndet sein, wie die
in welchem sich der dunkl ... Gesichtslinie näh
so lange deutlich, als ... in meinem Auge
von rechts nach links be ... nigen Schattens.
Netzhautseite her, a
... lectirt ist, wie es in
Bei Personen, der
kann dagegen ein solc

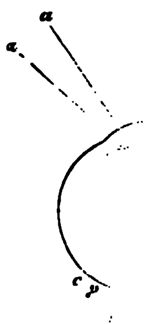
I. WELTERBERG. ... XVI 1856.
... J. P. N. ...
BAMBERGER ... IV ...

...tung der Netzhautgefäfse besteht
einem breiten lichten Felde,
...ng vor der Pupille schnell
...cheinen sehr fein gezeichnet,
... sich im Gesichtsfelde gleich-
...rechend dem Visirpunkte, sieht
... granulirtes Ansehen zu haben
...chatten bei den Bewegungen der
...ewegungen der Öffnung sieht man
...n Bewegungen die horizontal ver-
...n auch, wenn man in ein zusammen-
... ein Object unterzulegen, so dafs
...is der Blendung sieht. Wenn man
... hin und her bewegt, erscheinen in
...fäfse der Netzhaut sehr fein und scharf
...utlich immer die Gefäfse, welche senk-
...egung verlaufen, während diejenigen ver-
...der Bewegung parallel sind.

...thoden fiel das Licht aus einer ungewöhn-
...zhaut, und es fiel deshalb auch der Schatten
... der Netzhaut, welche bei dem gewöhnlichen
...cht getroffen werden, und von denen die Be-
...wöhnlicher Zustand leicht empfunden wird. Bei
...thode dagegen fällt das Licht auf dem gewöhn-
... die Pupille, in das Auge. Ist die ganze Pupille
...m hellen Himmel gewendet, so gehen von jedem
... nach jeder Richtung in den Hintergrund des
...n aus, ganz so als wäre die Pupille selbst die
...er dem Einflusse dieser Beleuchtung müssen die
...breiten verwaschenen Schatten auf die hinter ihnen
...n werfen, wobei der Kernschatten etwa nur vier bis
...ird, als der Durchmesser des Gefäfses. Da nach
... Ast der *Vena centralis* 0.017 Par. Linien (0,038 mm)
...nd die Netzhaut nach KÖLLIKER im Hintergrunde
...ck ist, läfst sich annehmen, dafs der Kernschatten 161
...r hinteren Fläche der Netzhaut reichen wird. Wenn
...ung vor die Pupille bringen, wird der Schatten der
...maler, schärfer begrenzt, der Kernschatten länger,
...haut, die sonst im Halbschatten lagen, theils in den
theils mit den unbeschatteten Theilen gleich stark

...öhnlichen Sehen die Gefäfsschatten nicht wahrnehmen,
...s, dafs die Empfindlichkeit der beschatteten Stellen
...hre Reizbarkeit weniger erschöpft ist als die der

merkliche Lichtper[...] [...] aber den Ort des Schattens ode[...]
Beleuchtung ist also [...] wahrnehmbar, weil die schwach[...]
unterschieden, da[...] [...] reizbare Netzhautelemente fäll[...]
nicht von aufsen [...] der Netzhautelemente dagegen wir[...]
empfängt. Da die [...] [...]troffen, und empfindet dies stärke[...]
sind, das Bildche[...] [...]ntlich im Anfange der Versuche, de[...]
geben, auch zie[...] [...] hell auf dunklerem Grunde erschein[...]
man die Einzel[...] [...] der helle Theil der Erscheinung di[...]
nimmt wie bei [...] [...]n kann, als der dunkle. Sobald de[...]
erklärt sich [...] unseren Versuchen seine neue Stell[...]
der Knotenpun[...] [...] beschatteten Stellen allmälig reizbare[...]



[...]gegen ihre erhöhte Reizbarkeit schne[...]
[...] verschwindet wieder. Um sie dauer[...]
[...] Ort des Schattens stets wechseln [...]
[...]ungen der Lichtquelle bleiben nur di[...]
[...] den Platz wechselt. Auf diese Veränd[...]
[...]wir in § 24 unten noch näher zurück.

[...]ehen bei intermittirender Beleuchtung –
[...] Hand mit gespreizten Fingern hin und he[...]
[...]sehen, die er für die Blutbewegung in de[...]
[...]SSNER und ich selbst haben diese Bewegun[...]
[...]en gesehen, denen ich VIERORDT's Deutun[...]
[...]lgt daraus nicht, dafs VIERORDT die Ersche[...]
[...]stimmter gesehen haben kann, und dafs [...]
[...]usdruck des Blutlaufs war.

[...]NIE[2] und J. MÜLLER[3], wenn sie nach ein[...]
[...]ckten, helle Punkte im Gesichtsfelde ersch[...]
[...]n sehen, so dafs dieselben nach unregelmäfsig[...]
[...]selben Stellen auftauchen und immer wied[...]
[...] ziemlich grofsen Geschwindigkeit zurückleg[...]
[...]an nun nach einer Bemerkung von O. N. Ro[...]
160 [...]durch ein dunkles blaues Glas nach dem Himm[...]
das [...]en Punkt der Fensterscheibe, um die bewegt[...]
des [...]n derselben Stelle zu sehen und die Lage ih[...]
an[...] [...]e Fensterscheibe projicirten Gefäfsfigur zu ve[...]
d[...]
([...] [...] Beobachtungen wiederholt habe, glaube ich [...]
V[...] [...]eifeln zu können, dafs sie von der Blutbeweg[...]
[...] dafs ein einzelnes gröfseres Körperchen sich [...]
[...]se klemmt. Dann pflegt vor einem solchen [...]
[...] werden, hinter ihm dagegen stauen sich die Blu[...]

[...] f. Heilkunde. 1856. Heft II.
[...] Versuche. I. 127.
[...] II. 90.

rchen in gröſserer Menge an. Sobald das Hemmniſs sich löst, strömt nze Haufen schnell davon. Es sind dies Vorgänge, die man bei htung des Capillarkreislaufes mit dem Mikroskope oft sieht. Bei dem ten Versuche geht im Sehfelde voran ein hellerer länglicher Streifen, chend der leeren Stelle des Gefäſses vor dem Hemmniſs; diesem folgt nklerer Schatten, der, wie ich glaube, den zusammengedrängten Blutchen entspricht.

meinem rechten Auge sehe ich diese Erscheinung in zwei parallelen chen links neben dem Fixationspunkt sehr deutlich und oft sich wiem, zuweilen in beiden gleichzeitig; die Bewegung ist scheinbar nach 838
erichtet und das bewegte Gebilde verschwindet, indem es sich mit lich gesteigerter Geschwindigkeit durch eine *S*förmige Krümmung chwindet. Nun finde ich im entoptischen Bilde des Gefäſsbaums sole beiden parallelen Gefäſse an der angegebenen Stelle, als auch die ge Krümmung ihrer Vereinigungsstelle, welche in ein gröſseres Venenchen hinüberführt, so daſs beide Beobachtungsmethoden sich vollständig chen. Übrigens sind die genannten Gefäſse nicht die einzigen, in eine solche Bewegung sichtbar wird, sondern es giebt noch viele Stellen in dem Sehfelde desselben Auges, die aber weiter vom nspunkte abliegen und nicht so charakteristische Formen haben.

nach würde die genannte Erscheinung also als der optische Ausdruck r Hemmungen des Blutlaufs zu betrachten sein, die nur in gewissen nen des Gefäſsbaums und nur beim Vorübergang etwas gröſserer rchen aufzutreten pflegen.

n zu entscheiden, ob die entoptisch gesehenen Objecte vor oder hinter der Pupille 161
ra nahe der Netzhaut liegen, dazu ist die Beachtung der Parallaxe nach Listing's ng ausreichend. Es sei *a Fig. 102* das von den Augenmedien entworfene Bild chtenden Punktes *c* der Punkt des directen Sehens auf haut, *fe* die Ebene der Pupille oder vielmehr deren von n entworfenes Bild, welches indessen nur wenig von seinem abweicht. Endlich sei *d* ein dunkles Object hinter der Wenn die Linie *ac* die Pupille in *g* schneidet, so fällt tten des Punktes *g* auf den Punkt des directen Sehens r entspricht dem direct gesehenen Punkte des entoptischen er Pupille. Ziehen wir die gerade Linie *ad*, und verer, bis sie die Netzhaut in *b* schneidet, so ist *b* der Ort atten von *d*. Nennen wir den Durchschnittspunkt der *d* mit der Pupillarebene *h*, so fällt die Projection des *h* der Pupille gleichzeitig auf *b*; *d* und *h* decken sich im chen Gesichtsfelde. Wenn in der Linie *ab* auch noch vor ille ein Object *i* liegt, so deckt sich dieses ebenfalls mit toptischen Gesichtsfelde.

nn nun aber das Auge oder der leuchtende Punkt so wird, daſs ein anderer Punkt der Pupille, etwa *f*, entopect gesehen wird, der leuchtende Punkt etwa nach *α* in die rung der Linie *cf* rückt, so verändert sich auch die Lage atten von *d* und *i* gegen den der Pupille. Ziehen wir *αd* und *αi*. Ersteres die Ebene der Pupille in *m*, letzteres verlängert in *c*, so sind *m* und *c* die

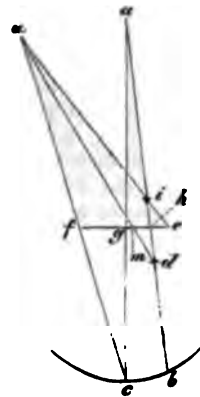


*Fig. 102.*

... Bilder sich mit denen der Objecte *d* und *i* je ... dem entoptischen Bilde von *g* nach *f* gerü... gelegenen Objects *d* eine Bewegung in gleich... Pupille gelegenen Objects in entgegengesetzt... der Bezeichnungsweise von LISTING hat also ... negative. Es ist bei geringer Übung immer leic... scheinenen Objecte sich im Verhältniſs zu der kre... dies in gleichem oder entgegengesetztem Sinne ... danach entscheidet man leicht, ob sie vor oder hint...

... Glaskörper schwebenden Objecte genauer messen ... Methode eingeschlagen, bei welcher er zwei Bünd... Auge dringen lieſs, und dadurch zwei Schatten ... Entfernung der Schatten von einander kann dann ... Netzhaut gefunden werden. BREWSTER sah zu dem ... Linse nach zwei neben einander gestellten Flam... geändert, indem er vor das Auge ein Metallplättc... einander entfernten Öffnungen bringt. Durch diese ... erleuchteten Papiere hin, auf welchem die entoptisch... erscheinen. Er miſst nun den Abstand der Mittelpunkte ... deckenden kreisförmigen Bilder der Pupille, welcher ein... daſs man den Durchmesser des unbedeckten Theiles die... er den Abstand der Doppelbilder des betreffenden ent... ...tere verhält sich zum Abstande der beiden Kreise wie der ... der Netzhaut, welcher gefunden werden soll, zum scheinba... der Netzhaut (18 mm). So kann der Abstand der Obje... berechnet werden.

... Methode von DONDERS insofern geändert, daſs er seine Messun... mikroskopischen Messung *à double vue* ausführt. Das eine A... zwei feine Öffnungen nach einem kleinen Hohlspiegel, der ... reflectirte, das andere auf eine in der Entfernung des deutlic... und der Beobachter miſst mit dem Zirkel auf dieser Tafel ... Objecte und den Abstand ihrer Doppelbilder, sowie den Abst... Rande der Iris. Um aus der scheinbaren Gröſse der ent... wahre Gröſse zu berechnen, muſs man noch den Abstand ... man sieht, von der Hornhaut kennen. Am besten ist es, ... Brennpunkt des Auges (12 mm vor der Hornhaut) anzubrin... der entoptischen Objecte so groſs wie die Objecte selbst. ... scheinbare Gröſse dieser Objecte im Gesichtsfelde ver... Gröſse des Schattens auf der Netzhaut wie die Entfernung ... Auge zur kleineren Hauptbrennweite des Auges (15 mm). ... mit der Öffnung wenigstens nahehin in die vordere Brenne... befestigt man es am Ende eines kurzen Röhrchens von passend...

... Gröſse der Bewegung des Gefäſsbaums im Gesichtsfelde bei ... Methode, ihn sichtbar zu machen, hat H. MÜLLER gemess... Gröſse der Verschiebung des leuchtenden Brennpunktes ... Zirkel gemessen wurde. Es kann daraus, wenigstens annäher... Rechnung die Entfernung der Schatten werfenden Gefäſse v... nehmenden Schicht der Netzhaut bestimmt werden. Man zeich... Durchschnitt des Auges in natürlicher Gröſse. Der Brennpunkt ... zwischen den Punkten *a* und *b* hin und her bewegt. Es sei *c* ... Nähe des gelben Flecks gelegenen Gefäſses *v*, dessen scheinba... gemessen hat, für die Lage des Lichtpunktes in *a*, so muſs dies Gef...

geraden Linie α a liegen. Es sei α β die aus der scheinbaren Verschiebung des im Gesichtsfelde berechnete wahre Verschiebung auf der Netzhaut, also β der Gefäßschattens für den Fall, wo sich der Brennpunkt findet. Man ziehe die gerade Linie b β. Der Punkt v, und a α sich schneiden, muß dann der Ort des Gesein, dessen Entfernung von der Netzhaut durch Messung schauung gefunden werden kann. H. Müller erhielt se Weise in mehreren Versuchen für die Entfernung äße von der empfindenden Schicht 0,17; 0,19 bis 0,21; 26 bis 0,29; 0,29 bis 0,32 mm. Bei drei anderen tern 0,19; 0,26; 0,36 mm. Da nach den anato- Messungen desselben Beobachters die Entfernung äße von den Stäbchen und Zapfen in der Gegend en Flecks zwischen 0,2 und 0,3 mm beträgt, so wird es wahrscheinlich, daſs die Zapfen die den Schatten nden Gebilde seien, worauf auch andere Verhältnisse n, welche ich in § 18 auseinandersetzen werde.

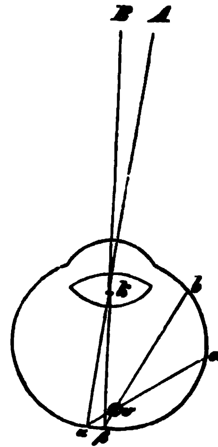


Fig. 103.

hales[1], ein Jesuit des 17. Jahrhunderts, stellte zu Ansicht über die Entstehung der fliegenden Mücken nd zwar die richtige, daſs es Schatten seien von hen, die in der Nähe der Netzhaut schwimmen. Pitcairn[2] verlegte sie dagegen Netzhaut selbst, und Morgagni[3] in alle Augenmedien, obgleich die weiter nach genden ohne die Anwendung schmaler Lichtquellen nicht wohl gesehen sein Ebenso irrt auch de la Hire[4], wenn er die festen Mücken ausschlieſslich auf haut verlegt, die beweglichen in die wässerige Feuchtigkeit. Le Cat[5] beschreibt ersuch, der dem Principe nach die Methode der entoptischen Untersuchung voll- enthält, indem er das umgekehrte Schattenbild einer dicht vor das Auge en Nadel im Zerstreuungskreise eines kleinen Lichtspunktes wahrgenommen hat. rtius[6] hat etwa zu derselben Zeit den Schatten der Iris, die Erweiterung und rung der Pupille entoptisch wahrgenommen und richtig verstanden. Aber erst )[7] hat man angefangen, kleine Öffnungen und starke Linsen anzuwenden, um enden Mücken deutlicher zu sehen, welches Verfahren übrigens auch dem s nicht ganz unbekannt gewesen war.

e strengere Theorie der Erscheinungen, und die Methoden den Ort der Körperchen zu beurtheilen, wurden erst viel später durch Listing[8] und Brewster[9] fest- denen später Donders[10] folgte. Des Letzteren Schüler Doncan[11] wies dann die timmung der entoptisch gesehenen Gegenstände mit mikroskopischen Structuren körpers nach; dasselbe versuchte James Jago[12]. Beschreibungen der verschiedenen entoptischer Objecte gaben außer den eben Genannten auch Steifensand[13], ie[14], Appia[15].

---

1 Dechales, *Cursus seu mundus mathematicus.* Lugduni 1690. T. III. p. 402.
2 Pitcairn. *Pitcairnii opera.* Lugd. Bat. p. 203. 206.
3 Morgagni, *Adversaria anatomica* VI. Anim. LXXV. p. 91. Lugd. Bat. 1722.
4 De la Hire, *Accidens de la vue.* p. 358.
5 Le Cat. *Traité des sens.* Rouen 1740. p. 298.
6 Jurin. *Nov. Comment.* Petropol. Vol. VII. p. 303.
7 *Mém. de l'Acad. d. sciences.* 1760. p. 57. Paris 1766.
8 Listing, *Beitrag zur physiologischen Optik.* Göttingen 1845.
9 Brewster, *Transactions of the Roy. Soc. of Edinb.* XV. 377.
10 Donders. *Nederl. Lancet.* 1846—47. 2te Serie. D. II. bl. 345. 432. 537.
11 Doncan, *De corporis vitrei structura. Diss.* Utrecht 1854; *Onderzoekingen ged. in het Physiol. Laborat. der Hoogeschool.* Jaar VI. p. 171.
12 Jago, *Proceed. Roy. Soc.* 18. Jan. 1855.
13 A. Steifensand, *Poggendorff's Ann.* LV. p. 131; *v. Ammon's Monatsschrift f. Med.* I. 203.
14 Mackenzie, *Edinburgh Medical and Surgical Journal.* July 1845.
15 Appia. *Le l'oeil vu par lui même.* Genève 1853.

Punkte der Pupille, deren entoptische Bilder si
162 decken. Während also der Visirpunkt in dem
ist, hat das Bild des hinter der Pupille gelegen
Sinne von *h* nach *m*, das Bild des vor der Pupill
Sinne von *h* nach *e* ausgeführt. Nach der B
eine positive Parallaxe, und *i* eine negative. I
zu entscheiden, ob die entoptisch gesehenen (
förmigen Begrenzung des Gesichtsfeldes in gl
der Visirpunkt verschieben, und danach ents
der Pupille liegen.

Um die Entfernung der im Glaskörper
können, hat D. Brewster zuerst eine Method
homocentrischer Strahlen in das Auge dring
jeden Objects erzeugte. Aus der Entfernun
Entfernung des Objects von der Netzhaut ge
durch eine vor dem Auge stehende Linse n
hin. Donders hat diese Methode geändert
mit zwei kleinen, $1^1/_2$ mm von einander e
er nach einem weifsen, stark erleuchtete
Erscheinungen projicirt erscheinen. Er
beiden sich gegenseitig bedeckenden kreis
dadurch gefunden wird, dafs man den
Kreise mifst. Ferner mifst er den Ab
tischen Objects. Der letztere verhält sic
stand des Objects von der Netzhaut, w
Abstande der Pupille von der Netzhau
von der Netzhaut leicht berechnet werd

Doncan hat die Methode von Do
nach dem Principe der mikroskopische
blickte durch eine oder zwei feine Öff
Licht des Himmels reflectirte, das n
Sehens gelegene Tafel, und der Beob
Gröfse der entoptischen Objecte und
entsprechender Punkte am Rande de
tischen Objecte ihre wahre Gröfse
Öffnung, durch welche man sieht,
Öffnung in den vorderen Brennpunk
dann sind die Schatten der entopti
mit dem Zirkel gemessene scheinb
sich aber zur wahren Gröfse des
messenden Zirkels vom Auge zur l

Um das Plättchen mit der Ö
des Auges zu bringen, befestigt m
Länge.

Die scheinbare Gröfse der
ersten eben beschriebenen Metho
während gleichzeitig die Gröfse
der Sclerotica mit dem Zirkel g
durch Construction oder Rechnu
der den Schatten wahrnehmende
wie in *Fig. 103*, den Querschni
der Sclerotica sei zwischen de
Schatten eines in der Nähe de
163 Bewegung man gemessen hat,

Purkinje[1] zuerst entdeck
r gemacht. Auch bei Er
wahrgenommen. Guddes[2] r
deutung der Bewegung des Sch
Anwendung homocentrischen
Sclerotica schien keine Schwie
weichenden Verhältnisse aufme
s Auges eintreten, und leitete
überhaupt ab. Diese wurde
Theorie dieser Art des Versuch
des Gesichtsfeldes ein heller
beschrieb die entoptische Ersch
die Erscheinung einer Hervorr
älteren Theorie des Versuchs, die

## ... und der Augenspiegel.

Netzhaut gefallen ist, wird ein
Pigment der Aderhaut, ein an
durch die Pupille nach aufsen zu
nehmen wir nichts von dem I
anderen Auges zurückkehrt, dies
schwarz. Der Grund hiervon ist h
...ungsverhältnissen des Auges zu su
den meisten Stellen des Augenh
...ets verhältnismäfsig wenig Licht zu

Flächen, welche ein genaues Bild
können die Lichtstrahlen genau auf
dem leuchtenden Punkte zu dessen
von dem Bilde zu dem leuchtenden P
den leuchtenden Punkt an den Ort
Bild an dem früheren Orte des leucht

...schliche Auge genau für einen leucht
von diesem ein genaues Bild auf seiner
...ten nun die erleuchtete Stelle der Net
Object, so wird deren von den Augenm
...n ursprünglich leuchtenden Körper zusam
...ches von der Netzhaut aus dem Auge zu
Auges direct zu dem leuchtenden K
...n ihm vorbei. Das Auge des Beobachters

... 1819. S. 89. *Neue Beiträge.* 1825. S. 115
... Physiol. 1849. S. 522.
... 1854.
... Würzburg. IV. 100. V. Lief. 3.

afangen, zwischen den leuchtenden Körper
n müssen, was ohne weitere Hülfsmittel
leuchteten Auge das Licht abzuschneiden.
hter Licht aus dem Auge eines Anderen
letztere für die Pupille des Beobachters
esen Umständen wird nämlich ein genaues
obachters auf der Netzhaut des beobach-
Rückwärts werden die Augenmedien ein
Netzhaut gerade auf die Pupille des Beobach-
dieser gerade nur den Wiederschein seiner
der fremden sehen.
man unter gewöhnlichen Umständen auch die
Theile im Hintergrunde eines fremden Auges
eifse Eintrittsstelle des Sehnerven, die Gefäfse.
denen das Pigment der Chorioidea fehlt, erscheint
man durch einen dunklen, vor ihr Auge gehaltenen
ung von der Gröfse der Pupille zum Durchsehen
durch ihre Sclerotica in das Innere des Auges
welches das gewöhnliche rothe Ansehen der
kt. Ebenso erscheint das Objectglas einer *Camera*
schwarz, wenn der Beobachter sie aus der Ent-
ale, für die sie eingestellt ist, betrachtet; selbst
irm zum Auffangen des Bildes ein weifses Blatt

euchtete Auge weder für den leuchtenden Gegen-
pille des Beobachters genau accommodirt, so ist es
chter einiges von dem aus der Pupille zurückkehren-
, die Pupille erscheint ihm dann leuchtend.
zusehen, dafs der Beobachter von allen denjenigen
des beobachteten Auges Licht empfangen kann, auf
ungsbild seiner eigenen Pupille fällt. Supponiren wir
tt der Pupille des Beobachters eine leuchtende Scheibe,
bild in dem beobachteten Auge genau mit dem Zer-
Pupille zusammentreffen würde, so gehen Lichtstrahlen
hreren Punkten dieser leuchtenden Scheiben nach jedem
treuungsbildes hin, es können also auch rückwärts Licht-
n Punkte der Netzhaut, der dem Zerstreuungskreise an-
em oder mehreren Punkten der leuchtenden Scheibe, d. h.
Pupille des Beobachters gelangen. Der Beobachter wird 166
ntete Auge leuchten sehen, so oft in dem beobachteten Auge
sbild seiner eigenen Pupille theilweise zusammenfällt mit
ungsbilde eines leuchtenden Gegenstandes.

[illegible] Jaar VI
[illegible] 3te Ser. D. II. bl. 19

Die subjective Erscheinung der Centralg- sie nach den drei oben beschriebenen Metho des Auges durch Druck und Blutandrang ha auf die für die Theorie der Erscheinung wic aufmerksam. Die Theorie der Erscheinung von der Pupille aus oder eines Brennpunkt zu haben. Wohl aber machte MEISSNER[3] :
104 welche bei der Bewegung eines Lichts un: Bedenken gegen die bisherige Erklär. H. MÜLLER[4] beseitigt, welcher die oben i
Schon PURKINJE erwähnt, dafs i erschiene, der einer Grube ähnlich sche des gelben Flecks genauer, deutete si nicht eines Grübchens, vermöge der u H. MÜLLER verbessert wurde.

## § 16. Das Augenle

Von dem Lichte, welches absorbirt, namentlich durch da Theil wird diffus reflectirt, u.

Unter gewöhnlichen Verl wahr, welches aus der Pupil scheint uns vielmehr ganz sächlich in den eigenthümlic zum Theil auch darin, da grundes wegen des schwarz geworfen wird.

Bei allen Systemen le leuchtenden Punktes entw selben Wegen, auf denen gegangen sind, auch ri zurückgehen. Oder we Bildes bringt, wird m Punktes entworfen.

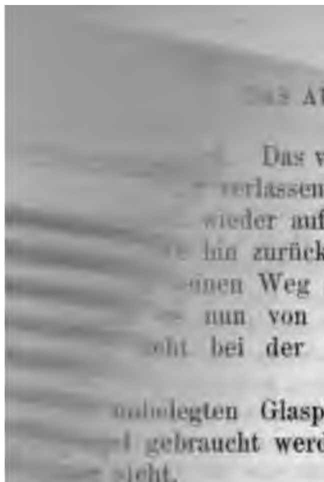
Daraus folgt: We Körper accommodirt i haut entwirft, und als ein zweites leu
105 entworfenes Bild ge fallen, d. h. alles kehrt, wird aufs zurückgehen, und

[1] J. E. PURKINJE
[2] GEDDES, l. c.
[3] MEISSNER, l. c.
[4] H. MÜLLER, l. c.
A. BURow, l. c.

Rande eines Lichtes vorbei, m von seinem eigenen Auge iem Auge eines Anderen, und itere Entfernung accommodirt, so erscheint ihm die Pupille roth leuchtend. Diese Anordnung des Versuchs ist schematisch in *Fig. 104* dargestellt. *B* ist das Auge des Beobachters, *S* der Schirm, welcher es vor den directen Lichtstrahlen schützt, *A* der obachtete Auge, *B C* die Gesichts obachteten Auges, welche belie ag: auch meist, ohne dafs man d berücksichtigt, wenn der Beobachter chlichen Augen nicht absolut genau obachtete, wie in *Fig. 104*, seitwärts : vortheilhaft, weil das Gesicht des st, während das Netzhautbild gleich ten, wenn das einfallende Licht auf . weil dessen weifse Substanz das durchscheinenden Beschaffenheit kein arbietet, auf der sich das Bild sch

i hinreichend starker Beleuchtung auch ur Sclerotica dringt, und hier diffus wahrgenommen zu werden. Dies Licht kreise. Daher kann bei starker Beodation des beobachteten Auges für die wacher Grad von Leuchten stattfinden en Augen, der sich in der angegebenen

Noch besser kann das Augenleuchten beo t werden, wenn man nicht direct da der Flamme in das Auge fallen läßt rn von einem Spiegel reflectirt, und de achter durch diesen Spiegel hindurchsieht n *Fig. 105* sei das Licht, *S* der Spiegel her aus einer unbelegten Glasplatte bestehe a. Diese wirft das auffallende Licht so zu k, als käme es von einem Spiegelbilde r Flamme. *C* sei das beobachtete Auge, an essen Hintergrunde ein kleines Netzhautbildche



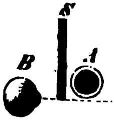
Das von der Netzhaut zurückkehrende Licht geht verlassen hat, zunächst in der Richtung des Spiegel- 167
wieder auf die spiegelnde Platte, wo ein Theil nach hin zurückgeworfen wird, während ein anderer durch einen Weg nach dem Orte des Spiegelbildes hin fort- nun von dem Auge des Beobachters *B* aufgefafst ht bei der beschriebenen Anordnung das beobachtete

unbelegten Glasplatte kann auch ein belegter Glasspiegel l gebraucht werden, mit einer engen Öffnung, durch welche sicht.

der Beobachter unter diesen Umständen nun auch den Hinter- beobachteten Auges erleuchtet sieht, so kann er doch in der hts im Hintergrunde dieses Auges erkennen, weil er sein Auge Bild, welches die Augenmedien vom Hintergrunde des Auges ent- nicht accommodiren kann. Zu dem Ende müssen noch passende en hinzugenommen werden. Die Zusammenstellung eines Beleuchtungs- mit solchen Glaslinsen giebt ein Instrument, Augenspiegel . mittels dessen man die Bilder auf der Netzhaut und die Theile zhaut eines fremden Auges deutlich sehen und untersuchen kann.

CKE hat auf einen eigenthümlichen Nutzen aufmerksam gemacht, den die der stabförmigen Körperchen bei der Zurückwerfung des Lichts an der t haben dürfte. Die Aufsenglieder dieser Körperchen sind kleine Cylinder, m lang, 0,0018 mm dick, von einer stark lichtbrechenden Substanz ge- lche palissadenartig neben einander gestellt, aber durch die Fortsätze ntzellen von einander getrennt, die der Aderhaut zugekehrte letzte Schicht haut bilden. Die Axe derer, welche im Hintergrunde des Auges die Netzhaut ı. ist gegen die Pupille hin gerichtet, und alles einfallende Licht tritt in diese Körperchen nahehin ihrer Axe parallel ein. Da nun Licht, wel- erhalb eines dichteren Mittels fortschreitend unter einem sehr grofsen Ein- el auf die Grenze eines weniger lichtbrechenden Mediums trifft, total wird, so können wir schliefsen, dafs das Licht, welches in ein stabför- örperchen einmal eingetreten ist, dieses meist nicht wieder verläfst, son- ern es irgendwo auf die cylindrische Begrenzungsfläche des Körperchens ollte, hier gröfstentheils nach innen reflectirt wird. Wenn wir die Brech- r stabförmigen Körperchen beispielsweise gleich der des Öls (1,47), die rischensubstanz gleich der des Wassers setzen (1,33), so werden Strahlen, r einem Winkel kleiner als 25° gegen ihre Fläche fallen, total reflectirt, die von der Pupille etwa nur unter einem Winkel von 8° auffallen. Ist t endlich an dem äufseren Ende des Körperchens angekommen, und wird ı Theil von der Aderhaut diffus zurückgeworfen, so wird dieser wieder hlich durch dasselbe Körperchen zurückkehren müssen. Was von dem lann unter einem gröfseren Winkel gegen die Axe des Körperchens ver- ird allerdings theilweise das Körperchen verlassen können, und dann der en durch die Fortsätze der Pigmentzellen verfallen. Was in den Körper- ribt, wird aber nur nach oft wiederholten schwächenden Reflexionen an

Blickt daher
dessen Strahlen
abhält, um nicht
ist dieses Auge



Grundrifs ein
linie des Be
gerichtet sein
Accommodati
weit entfernt
Bilder gehe
sieht. Grof
Beobachtete
hell bleibt.
die Eintritt
Licht stark
hinreichend
projiciren
Zu b
Licht gen
reflectirt
verhält si
leuchtung
Pupille
namentlic
Weise e



…ien Glaskörper dringen können
… Axe der Körperchen zurückgeht
… erleiden, daher wenig geschwäch
… aber auch die Richtung nach de
… Function der Körperchen schein
… der Schicht schwarzer Pigment
…ende Fläche (Tapetum) haben. vo
…ewirkt, dafs das Licht die empfin
…len getroffen hatte, bei seiner Rück
…s kann es rückkehrend nur dieselbe
…utelemente treffen, und sich nur z
…nen, was die Genauigkeit des Sehen
…hes diffus zerstreutes Licht bei hin
…felde merkbar werden kann, zeigt di
…htungsweise der Aderfigur mittels ein
…hts.

…meiner Sätze zur Begründung de
…leuchtens und der Augenspieg
…htung der einzelnen Fälle später aufse

**Satz I.**

…gengesetzter Richtung durch beli
… Mittel gehen, und in einem diese
…sammenfallen, so fallen sie in alle

… der beiden Strahlen, von denen wir wisse
…den gemeinschaftlich angehöre. Der er
… von $E$ längs der Linie $EB$ gekommen,
…n und nach $A$ gegangen. Der zweite Stra
… $A$ längs der Linie $AB$ nach $B$, wird
… und gehe nach $E_1$. Zunächst ist zu
…s $E_1B$ mit $EB$ zusammenfällt. $DB$
… Einfallsloth, $m$ das Brechungsverhältnifs d
… welchem $E$ und $E_1$, der Winkel $EB$
… und der Winkel $E_1BD = \alpha$, liegen; $n$ da
… das Brechungsverhältnifs des Mittels, in we
… und der Winkel $ABC = \beta$ liegt. Für d
… Strahl mufs nach dem Brechungsgesetz $AB$
… $DB$ und $EB$ gelegten Ebene liegen.
… sein

$$m . \sin \alpha = n . \sin \beta.$$

… Strahl $E_1B$ in der durch $DB$ und $AB$ gelegte
… welcher auch $EB$ liegt, und es mufs sein

$$\ldots \alpha_1 = n . \sin \alpha .$$

olgt

$$sin\ \alpha = sin\ \alpha_{,}\ \text{oder}$$
$$\alpha = \alpha_{,,}$$

Winkel nur im ersten Quadranten liegen können.
aus folgt, dafs $E, B$ mit $EB$ zusammenfällt. Somit congruiren die beiden auch in dem Mittel, in welchem $E$ liegt, soweit dieses reicht.
der nächsten brechenden Fläche läfst sich ihre Congruenz dann wieder dritte Medium folgern u. s. w.

ätze. 1) Auch sieht man leicht ein, dafs bei Reflexionen an spiegelnden ie Congruenz nicht gestört wird.
ür das Auge folgt, dafs ein Strahl, der auf seinem Wege von der Netzhaut mit einem anderen zusammenfällt, der von einem leuchtenden Punkte in das auf die Netzhaut fällt, auch aufserhalb des Auges mit diesem congruirt.
tellt man den Satz so allgemein hin, wie es hier geschehen ist, so mufs man ken, dafs bei gewissen Polarisationsrichtungen und Einfallswinkeln die Strahlen Brechung oder Reflexion ganz verlöschen könnten. Bei unseren Anwendungen eleuchtung des Auges treten solche Umstände nicht ein. Das Licht fällt auf 169
enden Flächen des Auges fast senkrecht ein, wobei seine etwa vorhandene n so gut wie keinen Einflufs auf die Stärke des gebrochenen und reflectirten st. Uebrigens können wir die Schwächung der Strahlen durch Reflexion und n an und in den Augenmedien vernachlässigen. Nur wenn man schräg gesplatten als Reflector benutzt, muss man an die Schwächung des Lichts durch denken.
die Intensität des hin und zurück gehenden Lichtstrahls läfst sich übrigens eine ganz entsprechende Regel von sehr ausgehnter Gültigkeit aufstellen, die chen zu haben hier genügen mag, da wir bei gegenwärtiger Anwendung das n seiner allgemeineren Form nicht brauchen. Den Beweis kann sich übrigens r die Gesetze der Optik kennt, leicht selbst führen. Mann kann diese allgeRegel folgendermafsen aussprechen.

Lichtstrahl gelange von dem Punkte $A$ nach beliebig vielen Brechungen, n u. s. w. nach dem Punkte $B$. In $A$ lege man durch seine Richtung rbige, auf einander senkrechte Ebenen $a_1$ und $a_2$, nach welchen seine ngen zerlegt gedacht werden. Zwei eben solche Ebenen $b_1$ und $b_2$ werden n Strahl in $B$ gelegt. Alsdann läfst sich folgendes beweisen: Wenn die $J$ nach der Ebene $a_1$ polarisirten Lichts von $A$ in der Richtung des nen Strahls ausgeht, und davon die Quantität $K$ nach der Ebene $b_1$ poLichts in $B$ ankommt, so wird auf demselben Wege rückwärts, wenn tität $J$ nach $b_1$ polarisirten Lichts von $B$ ausgeht, dieselbe Quantität $K$ polarisirten Lichts in $A$ ankommen.

el ich sehe, kann hierbei das Licht auf seinem Wege der einfachen und Brechung, Reflexion, Absorption, gewöhnlichen Dispersion und Diffraction en sein, ohne dafs das Gesetz seine Anwendbarkeit verliert, nur darf keine seiner Brechbarkeit stattfinden, und es darf nicht durch Körper gehen, in Magnetismus nach FARADAY's Entdeckung auf die Lage der Polarisationsebene

## Satz II.

ie Pupille des beobachteten Auges leuchtend erscheinen soll, fs sich auf seiner Netzhaut das Bild der Lichtquelle ganz oder eise mit dem Bilde der Pupille des Beobachters decken.

Wenn von irgend einer Stelle der Netzhaut des beobachteten Auges L
das Auge des Beobachters dringen soll, so mufs diese Stelle erstens von der
quelle erleuchtet sein, also dem Bilde der Lichtquelle angehören. Zweiten
wir die Fiction machen, dafs Licht von der Pupille des Beobachters aus
müfste nach dem vorigen Satze ebenso gut Licht von der Pupille des Beob
zur betreffenden Stelle der Netzhaut des beobachteten Auges wie umgekehrt
können. Die Netzhautstelle mufs also gleichzeitig dem Netzhautbilde der Pup
Beobachters angehören, mag dieses Bild nun scharf oder ein Zerstreuungsbil

Zusätze. 1) Dieser Satz gilt nicht nur für den Fall, wo die Strahlen auf g
Wege von der Lichtquelle zum beobachteten Auge und von diesem zum Auge d
bachters gehen, sondern auch wenn beliebig viele Linsen und Spiegel dazwisc
schoben sind. Dadurch erhält man ein bequemes Mittel, sich experimentell die W
jedes Augenspiegels am eigenen Auge deutlich zu machen. Man stelle das zur B
tung dienende Licht auf und bringe das Instrument vor sein Auge in dieselbe
wie es sonst vor dem Auge des Beobachters steht; der Theil des Gesichtsfeldes,
alsdann hell erscheint, entspricht dem Theile der Netzhaut, welcher beleuchtet is
kann erkennen, ob das helle Feld grofs oder klein, ob es gleichmäfsig erleuch
oder ob sich dunkle Stellen darin befinden, und wie dunkel diese sind. Alsdann
man die Flamme von der Stelle weg, wo sie zur Erleuchtung des Auges dien
bringe sie hinter das Instrument, da wo sich sonst das Auge des Beobachters b
so dafs das Licht durch die Öffnung scheint, welche dem Beobachter zum Dur
dient. Was jetzt im Gesichtsfelde erleuchtet ist, ist der Kreis, den der Beobach
der Netzhaut übersehen kann.

Ich empfehle diesen Weg, um bei den verschiedenen Combinationen eben
gekrümmter Spiegel, convexer und concaver Linsen in den Augenspiegeln sich d
kungen klar zu machen, ohne dafs man sich auf verwickelte geometrische Constru
einzulassen braucht, die den Ungeübten leicht mehr verwirren als aufklären.

2) Was die Wirkung der in diesem Paragraphen beschriebenen Beleuchtung
betrifft, so ordnet sich deren Wirkung leicht unter die hier aufgestellte Regel
erinnere sich daran, dafs, wie die tägliche Erfahrung lehrt und eine einfache Const
des Ganges der Lichtstrahlen bestätigt, das Zerstreuungsbild eines fernen Gegen
nicht das scharfe Bild eines deutlich gesehenen näheren Gegenstandes bedecke
wohl aber das Zerstreuungsbild eines näheren Gegenstandes das scharfe Bild ein
neren. Bei dem Versuche mit dem durchbohrten Spiegel bedeckt das Zerstreu
der Öffnung, durch welche der Beobachter blickt und welche sich möglichst n
dem beobachtenden Auge befinden mufs, das entferntere, vielleicht deutlich g
Bild der Lichtflamme. Wenn man keinen Spiegel anwendet, sondern der Beo
dicht an der Flamme vorbei nach dem beobachteten Auge sieht, erscheinen diese
die Flamme und das Auge des Beobachters nahe neben einander, und sobald d
bachtete Auge nicht scharf für sie accommodirt ist, fliefsen ihre Zerstreuungskr
einander. Bei der Beleuchtung mit einer unbelegten Glasplatte können beide
scharf sein, sowohl das des Lichts, wie das der Pupille des Beobachters. Erster
von der Platte gespiegelt, letzteres durch die Platte gesehen, so dafs beide auf e
fallen. Der Beobachtete kann deshalb selbst am leichtesten die Glasplatte so stelle
dem Beobachter sein Auge leuchtend erscheint. Er mufs nur darauf achten, da
das Auge des Beobachters von dem Spiegelbilde der Flamme gedeckt erscheine.

Ein solches Reciprocitätsgesetz, wie wir es eben dafür aufgestellt
dafs überhaupt Licht von einem leuchtenden zu einem zu beleucl
Punkte hin und her gehe; läfst sich auch für die Helligkit des hin u
rück gelangenden Lichts aufstellen. Wir erinnern in dieser Beziehung z
lgendes

**Allgemeines Gesetz der Beleuchtung.**

**n sich in einem durchsichtigen** Medium zwei verschwindend kleine Flächen-**von der Gröfse** $a$ und $b$ in der gegenseitigen Entfernung $r$ befinden, ihre **mit der sie verbindenden** geraden Linie beziehlich die Winkel $\alpha$ und $\beta$ **nd** $a$ **mit** der Helligkeit $H$ Licht aussendet, so ist die Lichtmenge $L$, **on** $a$ **auf** $b$ **fällt,**

$$L = \frac{H \,.\, a b \,.\, \cos\, \alpha \,.\, \cos\, \beta}{r^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1).$$

**rofs** ist **auch** die Lichtmenge, welche von $b$ auf $a$ fallen würde, wenn $b$ **Helligkeit** $H$ Licht aussendete.

**Satz III.**

**centrirten** Systeme von brechenden Kugelflächen sei $n_1$ das Brechungs-**aifs des** ersten, $n_2$ das des letzten brechenden Mittels. In dem ersten **sich** senkrecht gegen die Axe des Systems gerichtet und der Axe nahe **chenelement** $\alpha$, in dem letzten ein eben solches $\beta$. Wenn $\alpha$ die Hel-**it** $n_1^2 . H$ hat, und $\beta$ die Helligkeit $n_2^2 . H$, so fällt ebenso viel **von** $\alpha$ auf $\beta$, wie von $\beta$ auf $\alpha$.

**den** Beweis nicht complicirter zu machen, als unsere beabsichtigten An-**n verlangen**, vernachlässigen wir dabei die Schwächungen, welche die **an den** brechenden Flächen durch Reflexion erleiden, und nehmen an, **Einfallswinkel** der Strahlen an den brechenden Flächen immer klein genug **ihre** Cosinus gleich 1 setzen zu können, obgleich der Satz sich auch in 171 **erer** Form beweisen läfst.

Wenn $\beta$ nicht am Orte des Bildes von $\alpha$ liegt.

…i $A C$ die optische Axe des brechenden Systems, $F$ sein erster, $G$ sein Hauptpunkt, $\alpha$ das erste Flächenelement, welches wir, da es verschwindend …n soll, nur …en Punkt in …nung darge-…en. $\gamma$ sein …der Durch-… einfallenden …ndels in der Hauptebene. …lle in der

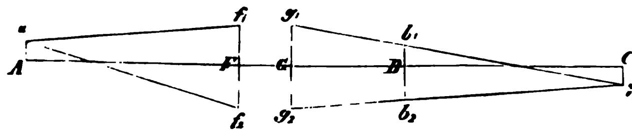



Fig. 107.

Die Grundfläche des Strahlenbündels in der ersten Hauptebene ist con-…gruent der in der zweiten; ihre gemeinsame Gröfse sei $\Phi$. Das zweite …ment $\beta$ liege in der Ebene, welche in $B$ senkrecht gegen die optische … und $b_1 b_2$ sei der Durchschnitt des Strahlenbündels in dieser Ebene. **punkte** der von $\alpha$ und $\gamma$ auf die optische Axe gefällten Lothe seien $A$

Lichtmenge, welche von $\alpha$ auf die Grundfläche des Strahlenkegels $f_1 f_2$ nach Gleichung 1) gleich

$$\frac{n_1^2 . H \,.\, \alpha \,.\, \Phi}{A F^2},$$

wenn $n_1^2 . H$ die Helligkeit von $\alpha$ ist. Dieselbe Lichtmenge fällt auch auf die teren Querschnitte des Strahlenkegels in $g_1 g_2$ und $b_1 b_2$. Die Lichtmenge welche in der letzteren Ebene auf das Elächenelement $\beta$ fällt, verhält sich z ganzen Lichtmenge, welche die Fläche $b_1 b_2$ trifft, wie die Oberfläche von dem Querschnitt des Strahlenkegels in $b_1 b_2$, den wir mit $\Xi$ bezeichnen w Es ist also die ganze Lichtmenge $X$, welche von $\alpha$ auf $\beta$ fällt, gleich

$$X = \frac{\Phi}{\Xi} \cdot \frac{n_1^2 . H . \alpha . \beta}{AF^2} \quad \dots\dots\dots$$

Nun ist aber ferner

$$\frac{\Phi}{\Xi} = \frac{(g_1 g_2)^2}{(b_1 b_2)^2} = \frac{CG^2}{BC^2}.$$

Dieser Werth in die Gleichung 2) gesetzt, giebt

$$X = n_1^2 . H . \alpha . \beta \frac{CG^2}{BC^2 \cdot AF^2}.$$

Da nun nach § 9 Gleichung 8a)

$$\frac{GC}{AF} = \frac{F_2}{AF - F_1},$$

wo $F_1$ und $F_2$ die beiden Brennweiten des Systems sind, so ist

$$X = H . \alpha . \beta \cdot \frac{n_1^2 . F_2^2}{[AF \cdot F_2 + BG \cdot F_1 - AF \cdot BG]^2} \quad \dots$$

Ebenso bekommt man nun für die Lichtmenge $Y$, welche von $\beta$, we mit der Helligkeit $n_2^2 . H$ leuchtet, auf $\alpha$ fällt, den Ausdruck

$$Y = H . \alpha . \beta \cdot \frac{n_2^2 . F_1^2}{[AF \cdot F_2 + BG \cdot F_1 - AF \cdot BG]^2} \quad \dots$$

172 Da auf beiden Seiten Alles symmetrisch ist, braucht man, um dies zu er in dem Ausdrucke für $X$ nur zu vertauschen

$AF$ mit $BG$
$F_1$ mit $F_2$
$\alpha$ mit $\beta$
$n_1^2 . H$ mit $n_2^2 . H$

Da nun nach § 9 Gleichung 9c)

$$n_1 . F_2 = n_2 . F_1$$

so folgt aus 2a) und 2b)

$$X = Y,$$

was zu beweisen war.

2) Wenn $\beta$ an den Ort des Bildes von $\alpha$ fällt.

Wir nehmen zuerst an, dafs $\beta$ in Gröfse und Lage dem Bilde von $\alpha$ entspreche, dann entspricht auch $\alpha$ genau dem Bilde von $\beta$. Alles Licht was von $\alpha$ aus durch die brechenden Flächen dringt, fällt auf $\beta$, umgekehrt, was von $\beta$ durch die brechenden Flächen dringt, fällt auf $\alpha$.

Wir behalten die Bezeichnungen der Figur 107 bei, nur dafs wir un Element $\beta$ jetzt in $\gamma$ liegend denken.

ist dies von $\alpha$ bei der Helligkeit $n_1^2 . H$ auf die brechenden Flächen und ch auf $\beta$ fallende Lichtmenge $X$ wiederum

$$X = n_1^2 . H . \frac{\alpha . \Phi}{AF^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3a),$$

von $\beta$ bei der Helligkeit $n_2^2 . H$ auf die brechenden Flächen und also auch allende Menge $Y$

$$Y = n_2^2 . H . \frac{\beta . \Phi}{GC^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3b),$$

nun $\beta$ das Bild von $\alpha$ sein soll, so ist nach § 9 Gleichung 8b), indem rucksichtigt, dafs $\alpha$ und $\beta$ ähnliche Flächen, also dem Quadrate ihrer entden Lineardimensionen proportional sind,

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{F_2^2}{(GC - F_2)^2},$$

ferner nach § 9 Gleichung 8a)

$$GC - F_2 = \frac{GC \cdot F_1}{AF},$$

t

$$\frac{\alpha . F_1^2}{AF^2} = \frac{\beta . F_2^2}{GC^2},$$

$F_1 : F_2 = n_1 : n_2$, so folgt

$$\frac{\alpha . n_1^2}{AF^2} = \frac{\beta . n_2^2}{GC^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3c).$$

a. 3b) und 3c) zusammen folgt endlich

$$X = Y,$$

beweisen war.

lle eines der beiden Elemente, z. B. $\alpha$, gröfser sein als das Bild von $\beta$, en die Theile von $\alpha$, welche nicht zum Bilde von $\beta$ gehören, weder Licht werfen, noch von $\beta$ empfangen können, es würde dadurch also weder $X$ $Y$ geändert werden und unser Satz richtig bleiben.

1) Die ganze Beweisführung läfst sich ebenso gut auf centrirte Systeme 173 der und spiegelnder Kugelflächen anwenden.

Die leuchtende und beleuchtete Fläche brauchen auch nicht verschwindend klein wenn sie nur klein genug sind, dafs die Cosinus der Einfallswinkel der Strahlen brechenden Flächen sich nicht merklich von 1 unterscheiden. Denn da für jedes rschwindend kleiner Flächenelemente der beiden Flächen der Satz gilt, so gilt er r die ganzen Flächen.

Wenn wir den eben bewiesenen Satz auf die Verhältnifse des Augenleuchtens en und das eine Flächenelement in die Netzhaut des beobachteten Auges a, statt des anderen die Pupille des Beobachters setzen, übrigens den Und der Brechung zwischen wässriger und gläserner Feuchtigkeit vernachn und zwischen den beiden Augen ein beliebiges System centrirter brechender piegelnder kugeliger Flächen angebracht denken, so können wir den Satz ermafsen aussprechen:

### Satz IIIa.

**Die Menge Licht, welche von einem Flächenelemente der Net des beobachteten Auges in das Auge des Beobachters fäll gleich der Helligkeit, mit der das Netzhautelement von der I quelle erleuchtet wird, multiplicirt mit der Menge Licht, w von der Pupille des Beobachters, wenn sie die Helligkeit = 1 l auf das Netzhautelement fallen würde.**

$H$ sei die Helligkeit, mit der das Netzhautelement von der Lichtque leuchtet wird, und $k$ die Lichtmenge, welche von der Pupille des Beoba wenn diese mit der Helligkeit 1 leuchtet, auf das Netzhautelement fällt, so nach dem eben bewiesenen Satze $k$ auch gleich der Lichtmenge sein, welc dem Netzhautelemente, wenn dieses die Helligkeit 1 hätte, in die Pupille d obachters gelangte. Da dieses nun aber die Helligkeit $H$ hat, so ist die menge, welche von diesem Elemente wirklich in die Pupille des Beobachte langt, $H.k$, wie es unser Satz ausspricht.

Es ist dieser Satz gleichsam die weitere Ausführung des Satzes II, hier die quantitativen Bestimmungen gegeben werden, welche dort fehlten. nächst ist er nur erwiesen für Augenspiegel, an deren brechenden und spieg Flächen die Lichtstrahlen nahe senkrecht einfallen und keinen erheblichen erleiden. Es ist aber leicht einzusehen, dafs er auch für die Beleuchtung des mit schiefgestellten spiegelnden Glasplatten gilt, da unpolarisirtes Licht, vo obachtenden zum beobachteten Auge durch eine solche Platte gehend, stark geschwächt wird, als wenn es den umgekehrten Weg verfolgte.

### Satz IV.

**Wenn ein Beobachter durch ein centrirtes System brechender und gelnder Kugelflächen ein scharfes Bild eines leuchtenden G standes erblickt und wir den Verlust von Licht an den brech und spiegelnden Flächen vernachlässigen können, so erschein Stelle des Bildes dem Beobachter ebenso hell, wie ihm di sprechende Stelle des Gegenstandes ohne optische Instru gesehen erscheinen würde, so oft die ganze Pupille des achters von den Strahlen getroffen wird, die von einem ein Punkte jener Stelle ausgehen. Ist diese letztere Bedingung erfüllt, so verhält sich die Helligkeit des optischen Bild Helligkeit des frei gesehenen Gegenstandes, wie der von Str jenes leuchtenden Punktes getroffene Flächenraum der Pupill Beobachters zur ganzen Pupille.**

Wenn das Auge direct oder durch ein centrirtes optisches System ei liches Bild eines Gegenstandes sieht, so können wir das Auge mit dem vorge
174 optischen Systeme zusammen wiederum als ein optisches System betrachten, ein Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut entwirft. Es sei $a$ ein Fläche des Gegenstandes, $b$ sein Bild auf der Netzhaut. So viel Licht von $a$ geht, würde auch nach Satz III dieses Paragraphen von $b$ nach $a$ gehen, we Netzhautelemente $b$ die Helligkeit $\frac{(n_2)^2}{(n_1)^2} . H$ ertheilt würde. In diesem Au

die Helligkeit des Elements $a$, $n_1$ das Brechungsverhältnifs des Mediums, m sich $a$ befindet, $n_2$ das des Glaskörpers. Es läfst sich aber leicht be-n. wie viel Licht von $b$ nach $a$ unter diesen Umständen gehen würde. Ist Querschnitt des von einem Punkte von $b$ nach einem Punkte von $a$ ge-n Strahlenbündels in der Pupille, so ist die von $b$ nach $a$ gehende Licht- $M$ gleich der von $b$ nach $q$ gehenden, und diese ist

$$M = \frac{n_2^2}{n_1^2} . H . \frac{q\, b}{R^2},$$

$R$ den Abstand der Pupille von der Netzhaut bedeutet. Streng genommen hier unter $q$ der Querschnitt des Strahlenbündels in dem von der Linse fenen Bilde der Pupille, und unter $R$ die Entfernung dieses Bildes von der ut zu verstehen sein. In diesem Ausdrucke für die Lichtmenge, welche von uchtenden Flächenelemente $H$ in das Auge fällt, sind zwei Gröfsen, welche r Beschaffenheit des dem Auge vorgesetzten optischen Systems abhängen, h $q$ der Querschnitt des Strahlenbündels in der Pupille und $b$ die Gröfse ildes auf der Netzhaut.

Die Helligkeit dieses Bildchens hängt nun aber nicht nur von der einfallenden menge ab, sondern auch von der Gröfse der Fläche $b$, über welche die Licht- ausgebreitet wird, und ist der letzteren umgekehrt proportional. Setzen wir inheit der Beleuchtungsstärke die Lichtmenge, welche die Einheit der Fläche so ist die Beleuchtungsstärke $J$ des Netzhautelements $b$

$$J = \frac{M}{b} = \frac{n_2^2}{n_1^2} \cdot H \cdot \frac{q}{R^2},$$

... ser Ausdrucke nur noch $q$ von der Beschaffenheit des optischen Systems ... ist ... sieht das Auge frei den Gegenstand an, so füllt das Strahlen- ... ganze Pupille, deren Querschnitt $Q$ sei, und die Beleuchtungsstärke

$$J = \frac{(n_1)^2}{(n_2)^2} . H \cdot \frac{Q}{R} .$$

... als $Q$ kann $q$ niemals werden; dieser letztere Ausdruck ist also das ... der Helligkeit; er stellt die natürliche Helligkeit des Bildes dar. Die ... ausgedehnter Flächen kann durch optische Instrumente nie gröfser, nur ... werden, wenn $q$ kleiner als $Q$, und verhält sich dann zur natürlichen ... wie $q$ zu $Q$.

... 1 Nur wenn wir verschwindend kleine leuchtende Punkte durch optische ... betrachten, deren Bild auch bei den stärksten Vergröfserungen nur die ... der kleinsten Zerstreuungskreise auf der Netzhaut bedeckt, also immer die- ... Ausdehnung behält, können optische Instrumente die Helligkeit vergröfsern. ... B für die Fixsterne, und deshalb können auch Fixsterne durch stark ... Fernröhre mit grofsen Aperturen bei Tage sichtbar gemacht werden. Die ... Helligkeit des Fixsterns steigt proportional der Lichtmenge, welche das In- ... in seinen Focus vereinigt, während die Helligkeit des Himmelsgewölbes im ... nicht vermehrt wird.

Auch wenn Zerstreuungsbilder einer leuchtenden Fläche von gleichmäfsiger Hellig- ... Auge entworfen werden, kann die Helligkeit des Netzhautbildes nur gleich, nie ... werden als die Helligkeit bei freier Betrachtung der Fläche. Der Beweis läfst 175
... führen wie für scharf gesehene Bilder, da Satz III für scharfe Bilder und

für Zerstreuungsbilder gleichmäfsig gilt. Auch hier ist die Helligkeit proportiona Querschnitt des Strahlenbündels in der Pupille, welches von dem entsprechenden P der Netzhaut bis nach der leuchtenden Fläche gelangen kann.

Ich erlaube mir zu bemerken, dafs gegen die hier entwickelten Grundsät Helligkeit dioptrischer und katoptrischer Apparate noch oft gesündigt wird. Man noch oft die irrige Meinung ausgesprochen, dafs, wenn man Licht durch Sammel oder Hohlspiegel in das Auge, u. s. w. fallen läfst, man dadurch nicht blos die schei Gröfse der leuchtenden Fläche, sondern auch ihre scheinbare Helligkeit vermehren l Der Vermehrung des in das Auge fallenden Lichts, welche durch solche Mittel erreich den kann, entspricht stets eine entsprechende Vergröfserung des Bildes, so dafs da eben nur gröfser, nicht heller wird. Durch kein optisches Instrument kann ma Helligkeit einer leuchtenden Fläche von erkennbaren Dimensionen für das Auge g machen, als sie dem blofsen Auge erscheint. Ebenso wenig kann eine beleu Fläche jemals eine gröfsere Helligkeit bekommen, als die leuchtende hat.

### Satz V.

Allgemeines Verfahren, die Helligkeit zu bestimmen, mit welcher Beobachter durch einen Augenspiegel eine Stelle der Netzhaut beobachteten Auges erscheint.

a) Wenn der Verlust, den die einzelnen Strahlen an den brec den und reflectirenden Flächen erleiden, vernachläfsigt werden l Es sei $x$ ein Punkt an der betreffenden Stelle der Netzhaut; wir haben zu suchen, wie das Strahlenbündel verläuft, welches von $x$ nach der Pupille des Auges geht. Nach Satz I und II mufs ein Theil dieses Strahlenbündels zum l tenden Körper, ein anderer zur Pupille des Beobachters gehen. Es sei $P$ der schnitt der Pupille des beobachteten Auges, $p$ in dieser Pupille der Quers desjenigen Theils des Strahlenbündels, welches zum leuchtenden Körper zurü langt, $H$ die Helligkeit, welche der betreffenden Netzhautstelle zukommen w wenn das beobachtete Auge, frei nach dem leuchtenden Körper blickend, an ein Bild dieses Körpers entwürfe. Wir können diese die normale Hell nennen. Sie hängt natürlich wesentlich von der Structur der Netzhaut ab, von der Helligkeit des leuchtenden Körpers und der Weite der Pupille $P$. Anwendung des Augenspiegels mufs nothwendig die wirkliche Helligkeit der hautstelle kleiner werden, nämlich

$$\frac{p}{P} \cdot H.$$

Weiter ermittele man den Querschnitt $q$, den der Theil des von $x$ ausgegan Strahlenbündels, welcher in die Pupille des Beobachters gelangt, in dieser P hat, deren ganzer Flächeninhalt $Q$ sei, so ergiebt sich schliesslich für die H keit der Netzhautstelle, wie sie dem Beobachter erscheint,

$$\frac{q \cdot p}{Q \cdot P} \cdot H.$$

b) Wenn die Strahlen durch Spiegelung oder Brechung einen lichen Verlust erleiden. Unter den bisher construirten Formen der A spiegel kommt ein solcher nur bei dem von mir angegebenen mit unbe spiegelnden Platten vor. Das vom Auge zum leuchtenden Körper gehende Str bündel wird in diesem Falle und allen ähnlichen ebenso viel verlieren als di chte wirklich zum Auge gehenden Strahlen. Man braucht also auch nu

**les ersteren zu** berechnen. Es möge von einem Strahl, der vom Licht **achteten** Auge geht, und dessen Intensität 1 ist, $\alpha$ im Auge ankommen, **einem eben** solchen Strahle, der vom beobachteten Auge ausgeht, $\beta$ in **Beobachters** ankommen, dann müssen wir den obigen Ausdruck für die 176
t **noch mit** $\alpha$ und $\beta$ multipliciren; er wird also

$$\frac{\alpha \cdot \beta \cdot p \cdot q}{P \cdot Q} H.$$

h **die in den vorstehenden** Sätzen vollzogene Umkehr des Problems von der **ng des Auges haben** wir die Untersuchung der Helligkeit der Bilder für jeden **lie Bestimmung** des Ganges eines einzigen Strahlenbündels reducirt, während **öthig war,** die Helligkeit einer einzelnen Netzhautstelle aus der Helligkeit aller **ander gelagerten** Zerstreuungskreise, welche den einzelnen Punkten der Licht**tsprechen,** durch Summation zu bestimmen. Auch glaube ich, dafs die Sache **der** Anschauung zugänglicher wird. Den Gang der Strahlen von einem Netz**te durch** die verhältnifsmäfsig einfachen optischen Systeme der Augenspiegel, **n eines zur** Beleuchtung, eines zur Beobachtung dient, einzeln genommen kann **leicht** veranschaulichen, während die ganze Übersicht des Ganges der Lichtstrahlen **Lichtquelle** bis zum Auge des Beobachters meist deshalb schwierig wird, weil **Netzhaut** eine unendliche Zahl in einander greifender Zerstreuungskreise der **der Lichtquelle** und der Pupille des Beobachters entstehen.

## Satz VI.

**ittel, ein deutliches Bild des Augenhintergrundes zu erhalten.**

*Fig. 108* sei das beobachtete Auge, *a* ein Punkt seiner Netzhaut, dessen Bild **Augenmedien in** *b* entworfen wird, in der Entfernung, wo das beobachtete Auge

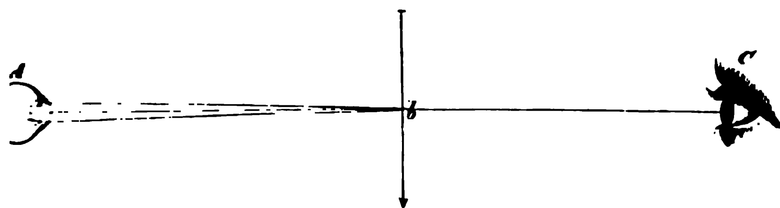



*Fig. 108.*

**steht.** Die beiden Pfeile, welche bei *a* und *b* gezeichnet sind, entsprechen **der** zusammengehörigen Bilder. Das Bild der Netzhautstelle ist ver**und** umgekehrt. Ein Beobachter, welcher ohne weitere Hülfsmittel dies **Netzhaut** in *b* sehen wollte, müfste also noch weiter entfernt vom Auge **in** *C* sich befinden, so dafs die Entfernung *Cb* wieder gleich der Seh**s** Beobachters würde. Hierbei würde aber das von der Pupille des **eten** Auges begrenzte Gesichtsfeld des Beobachters so klein sein, dafs er **h etwas** erkennen könnte.

**sind** bisher zwei Hauptmethoden angewendet worden, um die Lage des **dem** Beobachter bequemer zu machen. Bei der einen wird ein virtuelles **Bild** der Netzhaut, bei der anderen ein reelles umgekehrtes entworfen.

A. Darstellung der Netzhaut im virtuellen aufrechten Bilde.

Man wendet dazu eine Concavlinse $B$ in *Fig. 109* an, deren Brennwei kleiner ist als die Entfernung des Punktes $b$ von ihr. Eine solche macht d $A$ nach $b$ h vergirenden strahlen wie vergent, so von einem sc bei $d$ im
177 des beobac Auges gele Punkte zu k scheinen. Die Pfeile bezeichnen wieder Lage und Grōſse der Netzhautstel ihrer Bilder.

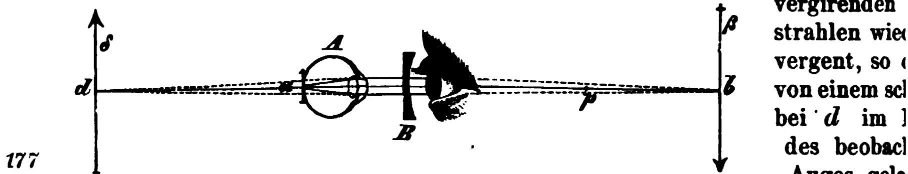


*Fig. 109.*

Nennen wir $p$ die (negative) Brennweite der Concavlinse, $\alpha$ die Entfernu $\gamma$ die Entfernung $dB$, so ist nach § 10 Gleichung 14)

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{p};$$

$\gamma$ muſs gleich der Sehweite des Beobachters sein, wenn er das bei $d$ ent Bild der Netzhaut deutlich sehen soll; $\alpha$ hängt von der Accommodationswe des beobachteten Auges und der Entfernung $A$ von $B$ ab. Hat man den beider Gröſsen festgestellt, so kann man aus der gegebenen Gleichung den von $p$ berechnen, welcher gewählt werden muſs, um deutliche Bilder zu ge

Wären beide Augen für unendliche Ferne accommodirt, also $\alpha = \gamma =$ würde auch $p = \infty$ werden müssen, d. h. es wäre gar keine Linse noth

Auch für die seitlich gelegenen Theile der Netzhaut ist gewöhnlich kein nothwendig, weil diese vor den dorthin fallenden Vereinigungspunkten der strahlen weit entfernter Lichtpunkte zu liegen scheinen, und die Augenmedi ihnen daher selbst schon ein dem Beobachter passendes Bild entwerfen.

Das Netzhautbild in $d$ ist bei dieser Beobachtungsweise aufrecht.

Was die Vergröſserung betrifft, so denke man in $b$ einen leuc Gegenstand, dessen Bild auf der Netzhaut in $a$ entworfen werden würd rückkehrenden Strahlen bilden ein Bild des Netzhautbildes, welches nach d her auseinandergesetzten Grundsätzen des Augenleuchtens dem leuchtenden stande in $b$ congruent ist. Nennt man $\beta$ die Gröſse des leuchtenden Gegen und des ihm gleichen Bildes in $b$, $\delta$ die des vom Beobachter gesehenen Bi $d$, so ist

$$\frac{\beta}{\delta} = \frac{\alpha}{\gamma}.$$

Als Maſs für die scheinbare Gröſse des gesehenen Bildes können wi Gröſse dividirt durch seine Entfernung von dem sehenden Auge gebrauche findet sich das Auge des Beobachters dicht hinter dem Concavglase, so wi scheinbare Gröſse des Bildes

$$\frac{\delta}{\gamma} = \frac{\beta}{\alpha}.$$

wir die Entfernung $AB$ nun $q$, so ist die scheinbare Gröfse des Objects
s Auge $A$

$$\frac{\beta}{\alpha + q},$$

as kleiner als die des Bildes $\delta$ für den Beobachter. Ist die Sehweite des
l sehr viel gröfser als $q$, so kann man $q$ gegen $\alpha$ vernachlässigen, und
ch für das beobachtete Auge die scheinbare Gröfse des leuchtenden Ge-
les gleich $\frac{\beta}{\alpha}$.

Netzhautbilder des beobachteten Auges erscheinen also bei dieser Anord-
m Beobachter unter gleichem oder etwas gröfserem Gesichtswinkel als die
henden Gegenstände dem beobachteten Auge.

raus ergiebt sich nun leicht die Vergröfserung der Netzhauttheile des beobach-
ges. Ist $x$ die Gröfse des auf der Netzhaut in $a$ entworfenen Bildes von
$y$ der Abstand der Netzhaut vom hinteren Knotenpunkte des Auges, so
sich

$$\frac{x}{\beta} = \frac{y}{\alpha + q}$$ 178

$$\frac{\beta}{\delta} = \frac{\alpha}{\gamma}.$$ Beides multiplicirt giebt:

$$\frac{x}{\delta} = \frac{y \cdot \alpha}{\gamma \cdot (\alpha + q)}.$$

LISTING's schematischem Auge gleich 15,0072 mm (oder 6,694 Par. Lin.),
er nach der bei der Berechnung von Vergröfserungen angenommenen Norm
weite gleich 8 Zoll zu setzen. Daraus ergiebt sich die Vergröfserung

$$\frac{\delta}{x} = 14{,}34 \frac{\alpha + q}{\alpha}.$$

egen $\alpha$ gewöhnlich sehr klein ist, können wir die Vergröfserung gleich
al annehmen.

Gesichtsfeld, welches man übersieht, ist bei dieser Methode durch den
h gesehenen Rand der Pupille des beobachteten Auges nicht scharf be-
Um eine bestimmte Grenze passend zu wählen, kann man die nach dem
der Pupille des beobachteten Auges gezogenen Visirlinien des Beobachters
deren Kreuzungspunkt[1] im Mittelpunkt der Pupille des Beobachters liegt.
an diese Visirlinien wie Lichtstrahlen behandelt, die von dem Mittelpunkte
pille des Beobachters ausgehen, findet man, dafs das Gesichtsfeld des
ters auf der Netzhaut des beobachteten Auges dem Zerstreuungsbilde ent-
in welchem der Mittelpunkt der Pupille des Beobachters dort erscheint.
ser Mittelpunkt oder vielmehr sein durch die Concavlinse gesehenes Bild
n Brennpunkte des beobachteten Auges, so ist der Zerstreuungskreis, wie
gen Paragraphen bei den entoptischen Erscheinungen nachgewiesen ist,
rofs wie die Pupille des beobachteten Auges. Meist wird aber das Auge
bachters sich dem beobachteten Auge nicht so weit nähern können, und dann
r dem Gesichtsfelde gleiche Zerstreuungskreis kleiner als die Pupille des
eten Auges werden, um so kleiner, je weiter der Beobachter sich entfernt.

: ::. ► 11'

B. Darstellung der Netzhaut im reellen umgekehrten Bilde.

Die zweite Methode, das Bild der Netzhaut dem Beobachter bequem sicl zu machen, besteht darin, dafs man nahe vor das beobachtete Auge eine Coı linse von kurzer Brennweite, 1 3 Zoll, hält. Es sei wiede *Fig. 110* $a$ ein beleuchteter P der Netzhaut, $b$ sein Bild au halb des beobachteten Auge $B$ eine Convexlinse, auf w die Strahlen fallen, ehe sie zum Bilde vereinigen. Diese wirft ein kleineres und nä Bild, als $b$ ist, in $d$, ebenfalls in umgekehrter Stellung, wie das in $b$. Das des Beobachters befindet sich in $C$, so weit entfernt, als es zur Accommod dieses Auges für das Bild nothwendig ist.

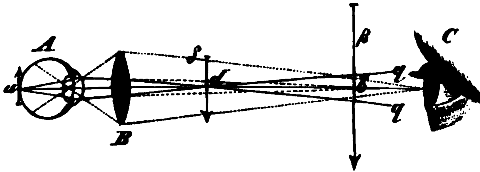


*Fig. 110.*

Ist $p$ die positive Brennweite der Linse $B$, und wird die Entfernung wieder mit $\alpha$, $Bd$ mit $\gamma$ bezeichnet, so ist (Gleichung 14 auf S. 84)

$$\frac{\alpha}{\gamma} = \frac{\alpha + p}{p}.$$

179 Da $\alpha$ meist sehr viel gröfser ist als $p$, so wird $\gamma$ nahehin gleich $p$, 1 aber stets etwas kleiner.

Die Gröfse eines Netzhauttheiles im Punkte $a$ sei $x$, die seines Bildes sei $\beta$, die des letzteren Bildes in $d$ sei $\delta$, und die Entfernung der Netzhaut hinteren Knotenpunkte des Auges sei $y$, die Entfernung des ersten Hauptpu der Linse $B$ vom vorderen Knotenpunkte des Auges $A$ sei $q$, so ist nach chung 6 S. 67

$$\frac{x}{\beta} = \frac{y}{\alpha + q}$$

$$\frac{\beta}{\delta} = \frac{\alpha}{\gamma}.$$ Beides multiplicirt giebt

$$\frac{x}{\delta} = \frac{y \cdot \alpha}{\gamma \cdot (\alpha + q)} = \frac{y \cdot (\alpha + p)}{p \cdot (\alpha + q)}.$$

In der Regel stellt man die Linse $B$ so, dafs die Pupille von $A$ in ihrem Hauptbrennpunkte liegt, dann wird also $p$ nahehin gleich $q$, und die Vergröfs

$$\frac{\delta}{x} = \frac{p}{y}.$$

Nehmen wir für $y$ den Werth aus LISTING's schematischem Auge, so ergiebt dafs das Bild $\delta$

| | | |
|---|---|---|
| 2 mal vergröfsert ist, | wenn $p = 30$ mm | (13,4‴) |
| 3 mal | wenn $p = 45$ mm | (20,1‴) |
| 4 mal | wenn $p = 60$ mm | (26,8‴). |

Dies ist die wirkliche Vergröfserung des objectiven Bildes. Die Vergröfserun den Beobachter, wenn die Entfernung $Cd$ gleich $c$ gesetzt wird, ist

$$\frac{p}{yc} \times 8 \text{ Zoll}.$$

**…s Gesichtsfeld** sieht der Beobachter bei dieser Methode begrenzt durch die **…des beobachteten** Auges, so lange die Convexlinse diesem Auge sehr nahe **…Je weiter man** die Convexlinse aber entfernt, desto stärker vergröfsert er**…die Pupille,** bis sie endlich in die Nähe des Brennpunktes der Glaslinse **…dann verschwindet** der Pupillarrand ganz aus dem Gesichtsfelde, und die **…nung** des letzteren wird nur noch von der Apertur dieser Linse bestimmt. **…Gröfse** des Gesichtsfeldes zu bestimmen, können wir wieder, wie in dem **…Falle,** die Visirlinien des Beobachters wie Lichtstrahlen behandeln. Zu**…entwirft** die Linse *B* ein Bild vom Kreuzungspunkt der Visirlinien in der **…hres Brennpunktes,** also nahehin in die Ebene der Pupille des beobachteten **…Von** da divergiren die Visirlinien nach dem Hintergrund des beobachteten **…hin.** Da ihr Vereinigungspunkt in der Nähe des vorderen Knotenpunktes **…bachteten** Auges liegen wird, oder vielleicht auch, je nach der Stellung der **…B,** ganz mit diesem Knotenpunkte zusammenfallen wird, so gehen die Visir**…des** Beobachters fast ungebrochen in das beobachtete Auge hinein. Ihr **…st** in *Fig. 110* durch die punktirten Linien angedeutet. Ist die Apertur **…se** *B* gleich *u*, der Durchmesser des Gesichtsfeldes auf der Netzhaut gleich **…ist**

$$\frac{r}{y} = \frac{u}{p}.$$

**…a bei** so kleinen Linsen recht gut die Apertur gleich der halben Brennweite **…kann,** also $u = \frac{1}{2}p$, so wird alsdann

$$r = \frac{1}{2}y = 7\frac{1}{2} \text{ mm}.$$

**…bersieht** also in diesem Falle ein gröfseres Gesichtsfeld, als es ohne künst- 180
**…rweiterung** der Pupille durch Atropin bei der Beobachtung mit Concav-…r …glich ist.

## VII.

### Beleuchtungsapparate der Augenspiegel.

… den drei oben angeführten Methoden kann die Beleuchtung direct mit L…hte geschehen, oder mit einem durchbohrten undurchsichtigen Spiegel, …t unbelegten, also durchsichtigen Glasplatten als Spiegel.

…leuchtung ohne allen Spiegel läfst sich nur für das umgekehrte Bild …zhaut anwenden, erfordert eine beträchtliche Geschicklichkeit, und wäre etwa …zu empfehlen, wo gerade kein anderes Instrument als eine einfache Convex…n kurzer Brennweite zur Hand ist. Die Ausführung der Beobachtung ist … Der Beobachter sieht dicht neben einem Lichte vorbei und, durch einen …gegen dessen directe Strahlen geschützt, wie es in *Fig. 104* abgebildet ist, …m beobachteten Auge hin, und bringt eine Convexlinse von 2 bis 4 Zoll …ite vor dieses Auge, wie in *Fig. 110*. Um die richtige Stellung zu finden, …man diese Linse zuerst ganz dicht vor das beobachtete Auge, und entfernt …mälig so weit, bis man die Pupille so stark vergröfsert erblickt, dafs ihre …hinter denen der Linse verschwinden. Man erblickt dann ein umgekehrtes B… der Netzhaut bei *d Fig. 110*. Um die Helligkeit dieses Bildes zu …en, verfolgen wir nach den Vorschriften von Nr. V dieses Paragraphen das …ündel, welches vom Netzhautpunkte *a* ausgeht; es wird von den brechenden

Flächen des Auges nach $b$ hin, darauf von der Linse $B$ nach $d$ hin conve gemacht, divergirt hinter $d$, und ist bei $qq$ am Auge des Beobachters jede breit genug, dafs die Pupille des Beobachters ganz hineintauchen und also Netzhautstelle mit ihrer ganzen wirklichen Helligkeit sehen kann. Diese wirkli Helligkeit verhält sich zur normalen oder gröfstmöglichen Helligkeit nach V der Theil des Strahlenkegels $qq$, der die Flamme trifft, zum ganzen Strahlenk Wenn nun die Flamme hinreichend grofs und passend gestellt ist, so brauchen sehr wenig Strahlen des Kegels $qq$ bei der Flamme vorbei zu gehen, um die pille des Beobachters auszufüllen. Dann wird die wirkliche Helligkeit der N hautstelle $a$ sehr wenig kleiner sein als die normale Helligkeit, und die schei Helligkeit für den Beobachter gleich der wirklichen.

Sehr viel bequemer wird die Beobachtung, wenn der Beobachter einen du bohrten undurchsichtigen Spiegel anwendet, um das Auge $A$ zu erleu Es sei in *Fig. 111* wieder $A$ das beobachtete, $B$ das beobachtende Auge, $C$

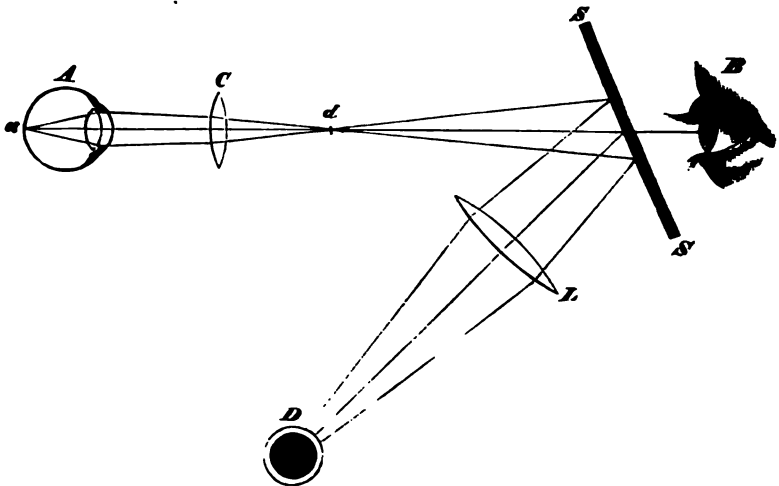



*Fig. 111.*

Convexlinse, und $SS$ ein durchbohrter Spiegel. Von dem Netzhautpunkte $a$ ein Bild bei $d$ entworfen, welches der Beobachter durch die Öffnung des Spi hin betrachtet. Von dem ganzen von $a$ kommenden Strahlenkegel geht nur schmale Theil für die Beleuchtung verloren, welcher durch die Öffnung des Spi fällt, der ganze übrige Theil wird reflectirt und kann dem leuchtenden Körpe gelenkt werden. Zu dem letzteren Ende ist entweder der Spiegel $SS$ ein spiegel (RUETE), oder aber ein Planspiegel (COCCIUS) oder Concavspiegel (Z DER), neben dem man eine Linse $L$ angebracht hat, welche die Strahlen auf leuchtenden Körper vereinigt. Aus dieser Darstellung folgt schon nach N dafs die Helligkeit der Erleuchtung nahezu die normale sein kann.

Das Gesichtsfeld für den Beobachter fanden wir bedingt durch die Gröfs Linse $C$, wenn die Pupille im Brennpunkte dieser Linse steht. Es fragt sich wie grofser Theil der Netzhaut erleuchtet werden kann. Da alles Licht durc Linse $C$ in das Auge des Beobachters fällt, kann natürlich das beleuchtete der Netzhaut nicht gröfser als das Zerstreuungsbild der Linse $C$ sein, welches

ungsbild auch, wie wir in VI gezeigt haben, dem Gesichtsfelde des Beobach-
spricht. Dies Zerstreuungsbild wird in allen Theilen sein Maximum der
it haben, wenn von jedem Theil der Linse $C$ Licht auf jeden Theil der
fällt. Diese Bedingung wird erfüllt sein, wenn die Pupille des beobachte-
es gleich oder kleiner als das Bild ist, welches die Linse $C$ in der Nähe
pille von dem Spiegel $SS$ (oder der Linse $L$) entwirft, und von jedem
dieses Spiegels, mit nothwendiger Ausnahme der mittleren Durchbohrung,
uf jeden Theil der Linse $C$ fällt. Das Letztere wird aber wiederum ge-
, wenn die Linse $C$ an dem Orte steht, wo der Spiegel das Bild der
flamme $D$ entwirft, und die Linse gleich oder kleiner als dieses Bild ist.

m ein Beispiel solcher Construction zu geben, wollen wir annehmen, man ver-
e dem Augenspiegel eine viermalige Vergröfserung und gebe dem entsprechend
$C$ eine Brennweite von 60 mm und eine Apertur von 30 mm. Der Spiegel,
ein durchbohrter Concavspiegel ohne Linse sein möge, mufs soweit von dem Orte
$A$ entfernt sein, dafs der Beobachter sein Auge für das Bild accommodiren
etwa 150 mm. Dann steht der Spiegel $S$ von der Linse $C$ 210 mm ab. Nach
chung § 9 Nr. 14b) wird sein von der Linse entworfenes Bild = $^{60}/_{150}$ = $^{2}/_{5}$
genen Gröfse sein. Da nun sein Bild der Pupille des beobachteten Auges gleich
, und diese bei künstlicher Erweiterung bis auf 10 mm Durchmesser kommen
, brauchen wir dem Spiegel nur 25 mm Durchmesser zu geben.

e Brennweite, welche wir dem Spiegel geben müssen, bestimmt sich nun durch
ngung, dafs er ein Bild der Lampenflamme entwerfen mufs, welches die Linse $C$
Die Flamme gröfserer ARGAND'scher Brenner hat etwa 15 mm Durchmesser.
wir in § 9 Gleichung 14b. für $\beta_1$ den Durchmesser der Linse $C$ 30 mm, für $\beta_2$
messer der Lampenflamme 15 mm, für $f_1$ die Entfernung $CS$ gleich 210 mm,
die Brennweite des Spiegels gefunden gleich 70 mm, und die Lampenflamme
vom Spiegel entfernt sein.

nicht einen Concavspiegel, sondern einen ebenen Spiegel und eine
wie in *Fig. 111* anwenden will, mufs man statt der Entfernung des
der Linse $C$ in der Rechnung die Summe der Entfernungen der beiden
$C$ von der Mitte des Spiegels nehmen.

der Beobachter den Spiegel und die Linse frei in der Hand hält, wird es 182
möglich sein, die Entfernungen dieser Theile, die der Rechnung zu Grunde
genau einzuhalten, und man wird auch bei ziemlich grofsen Abweichungen
Bilder erhalten; dennoch ist es aber wohl für den Beobachter vortheil-
Bedingungen für die Haltung seines Instruments zu kennen.

man mit einem durchbohrten Spiegel und einem Concavglase beobachtet wer-
, sind die Verhältnisse ungünstiger. In *Fig. 112* ist wieder $A$ das
Auge, $B$ das beobachtende Auge, $S$ der
der Netzhautpunkt $a$ beobachtet
, mufs ein Theil des von ihm aus-
n Strahlenkegels in das Auge des
ers fallen; wir wollen diesen Theil $\alpha$
ein anderer Theil $(1-\alpha)$ von dem
ach dem Lichte reflectirt werden.
$H$ die normale Helligkeit der Netz-
, so wird unter diesen Umständen
dieses Paragraphen $H \cdot (1-\alpha)$

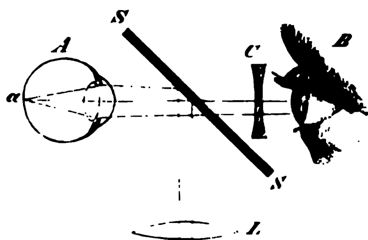


Fig. 112.

liche Helligkeit sein. Es sei wie früher $J$ der Flächeninhalt der schein-
pille des beobachteten Auges $A$, $R$ ebenderselbe von $B$, $g$ die Entfernung

der beiden scheinbaren Pupillen von einander, und $h$ die Accommodations des Auges $A$, so ist der Querschnitt des Theils des Strahlenbündels, der i Auge des Beobachters fällt,

$$\alpha \cdot J \cdot \frac{(h-g)^2}{h^2}.$$

Dieser Querschnitt wird in der Regel kleiner sein als $R$. Die scheinbare He für den Beobachter wird dann

$$H \cdot \alpha \cdot (1-\alpha) \cdot \frac{J \cdot (h-g)^2}{R h^2}.$$

Die Gröfse $\alpha.(1-\alpha)$ erreicht ihr Maximum, wenn $\alpha = 1/2$, sie wird gleich $1/4$. Die vortheilhafteste Anordnung in Bezug auf Helligkeit wird al sein, wo die Hälfte des Strahlenkegels in das Auge des Beobachters fäl Hälfte zurückgeworfen wird. Man erreicht dann die Helligkeit

$$H \cdot \frac{J \cdot (h-g)^2}{4 R \cdot h^2}.$$

Um ein möglichst grofses Feld in dem beobachteten Auge zu bele wende man eine grofse und nahestehende Lampenflamme an, oder wenn die zureicht, kann man bei $L$ eine Sammellinse anbringen. Entwirft diese ei der Flamme, welches die Pupille ganz deckt, so wird im Auge $A$ das ganz streuungsbild der Linse $L$ beleuchtet.

Für die Beobachtung mit Convexlinsen würde die Beleuchtung mit unb Glasplatten nur $1/4$ der Helligkeit geben, welche man mit durchbohrten undur tigen Spiegeln erreichen kann. Dagegen kann diese Beleuchtung bei der Be tung mit Concavlinsen unter Umständen mit Vortheil angewendet werden.

Man stelle sich nämlich in *Fig. 112* den Spiegel $SS$ vor als nicht bohrt und unbelegt, bestehend aus einer oder mehreren über einander g Glasplatten. Es werde von jedem Lichtstrahl, der auf den Spiegel fällt, de $\alpha$ durchgelassen, der Theil $(1-\alpha)$ zurückgeworfen. Ist $H$ die normale He der Netzhautstelle $a$, bei direct einfallendem Lichte, so giebt das von dem
183 reflectirte Licht nur die Helligkeit $H.(1-\alpha)$. Der Querschnitt des Strahlenb welches von $a$ ausgeht, ist, da wo es auf $B$ fällt, jetzt

$$J \cdot \frac{(h-g)^2}{h^2}.$$

Da nun der Theil $\alpha$ des Lichts durch die Platten hindurchgeht, so wi scheinbare Helligkeit für den Beobachter:

$$H \cdot \alpha \cdot (1-\alpha) \cdot \frac{J \cdot (h-g)^2}{R \cdot h^2}.$$

Dieser Ausdruck erreicht auch in diesem Falle ein Maximum, wenn $\alpha$ glei ist, und wird

$$H \cdot \frac{J \cdot (h-g)^2}{4 R \cdot h^2},$$

so lange

$$R < \frac{J . (h-g)^2}{h^2}.$$

dingung wird bei normalen Augen in der Regel erfüllt sein, da die Pu-
es von einer grofsen Lichtmenge getroffenen Auges $A$ in der Regel enger
als die Pupille $R$ des Beobachters. Nur bei der künstlichen Erweiterung
lle $J$ durch Atropin wird es nicht der Fall sein, und dann wird die
e Helligkeit einfach gleich $^1/_4 H$. Im letzteren Falle ist die Beobachtung
n durchbohrten Spiegel vortheilhafter, denn dort gilt der gegebene Aus-
r die Helligkeit, so lange

$$R < \alpha \cdot \frac{J.(h-g)^2}{h^2} \text{ und}$$

$$\alpha = {}^1/_2 \cdot$$

n man normale Augen ohne Anwendung von Atropin untersucht, so würde
tels beider Arten der Beleuchtung dieselbe Helligkeit erhalten können,
Pupillen unbeweglich wären. Der belegte Spiegel wirft aber im Ganzen
ht in das beobachtete Auge, blendet es stärker, und die Pupille verengt
r, so dafs unter diesen Umständen der unbelegte Spiegel ein gröfseres Ge-
und eine gröfsere Helligkeit geben kann. Aufserdem beleuchtet er die
Netzhautfläche gleichmäfsig, während beim durchbohrten Spiegel das Zer-
bild der Durchbohrung die Beleuchtung ungleichmäfsig macht. Endlich ist
hautreflex bei dem unbelegten Spiegel weniger störend, weil das vom
reflectirte Licht mehr oder weniger polarisirt ist, und von der Hornhaut
lerung seiner Polarisation zurückgeworfen nur zu einem sehr kleinen Theil
Platten zurückgeht.

it der unbelegte Spiegel die Hälfte des auffallenden Lichts zurückwerfe,
n ihn entweder aus einer Glasplatte bestehen lassen, oder aus mehreren
idergelegten, mufs aber den Einfallswinkel der reflectirten Lichtstrahlen
end wählen. Der passende Einfallswinkel für

eine Platte ist 70°
drei Platten „ 60°
vier Platten „ 56°.

Formen der Augenspiegel.

ugenspiegel von HELMHOLTZ[1], mit reflectirenden Glasplatten und Concav-
s ist dieser Augenspiegel auf *Fig. 113* im Querschnitt und natürlicher Gröfse,
g *114* von vorn gesehen in halber Gröfse dargestellt, mit einer Modification
glichen Form, welche von dem Mechaniker REKOSS angebracht ist, nämlich *184*
beweglicher Scheiben, welche die nöthigen Concavlinsen enthalten. Die drei
den Glasplatten sind mit *a a* bezeichnet, sie bilden die nach vorn gekehrte
enfläche eines prismatischen Kastens, dessen Grundfläche ein rechtwinkeliges
t wie man im Querschnitte *Fig. 113* sieht. Die übrigen Flächen des Prismas
Metallplatten gebildet und, um das Licht möglichst vollständig zu absorbiren,
t schwarzem Sammet ausgelegt. Die kleinere Kathetenfläche des Prismas ist
tteil des Augenspiegels so befestigt, dafs sie sich um die optische Axe des
ts drehen kann, und hat dieser Axe entsprechend eine Öffnung. Die Glas-
erden durch einen rechtwinkeligen Rahmen an dem prismatischen Kasten
aten, der Rahmen selbst ist durch zwei Schrauben *c c* an die dreiseitigen
en des Prismas befestigt. Die Glasplatten bilden einen Winkel von 56° mit
en Axe des Instruments.

[1] HELMHOLTZ. *Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge.*

In das metallene Gestell des Instruments *g g* ist ferner eine Axe *d d* eingel um welche sich zwei Scheiben *b b* und *c c* drehen. Jede dieser Scheiben hat Öffnungen. In je vieren sind Concavgläser von 6 bis 13 Zoll Brennweite eingeset fünfte ist leer. Diese Öffnungen können nach einander in die optische Axe des Instru gebracht werden, so daſs der Beobachter, welcher sein Auge an das beckenfö Ocularstück *B* anlegt, durch sie und die Glasplatten *a a* hindurchsieht. In *Fig.* die leere Öffnung der Scheibe *b b* und eine mit einer Linse versehene der Sche vorgeschoben. So kann der Beobachter eine beliebige von den acht Linsen ode von ihnen gleichzeitig vor sein Auge bringen. Damit die Scheiben ihre Stellung ohne Willen des Beobachters verändern, sind an ihrem Rande Grübchen angebra welche sich die Enden zweier Federn *h* einlegen.

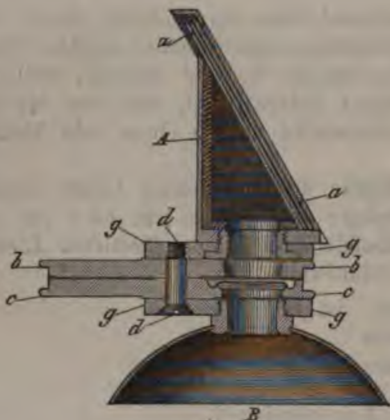



*Fig. 113.*




*Fig. 114.*

Für Beobachtungen mit Concavgläsern, also bei starker Vergröſserung, an Pe deren Pupille nicht künstlich erweitert ist, und bei groſser Empfindlichkeit des beoba Auges gegen Licht, finde ich unter den beweglichen Spiegeln diese erste Form des spiegels aus den Gründen, welche ich oben bei der Theorie der Beleuchtung unbelegte Glasplatten angeführt habe, noch immer am vortheilhaftesten. We gesundes Auge durch diesen Spiegel beobachtet wird, kann es die Erleuchtung S lang, ohne geblendet zu werden, ertragen. Ich selbst habe oft 20 Studirenden einander meine Netzhaut mit diesem Instrumente ohne Unbequemlichkeit gezeigt, w die Beleuchtung mit belegten Spiegeln nicht 5 Minuten ohne starke Blendung de ertragen wird. Ich ziehe deshalb diesen Spiegel zu den meisten physiologische suchen den anderen Formen vor. Für die augenärztlichen Untersuchungen dageg ein gröſseres Gesichtsfeld und gröſsere Helligkeit bei geringerer Vergröſserung vortheilhafter sein, und deshalb werden für dergleichen Beobachtungen meist durchbohrte Spiegel mit Convexlinsen angewendet.

Will man den Spiegel gebrauchen, so setzt sich der Beobachter dicht v Beobachteten, und stellt an seiner Seite eine hell brennende Lampe auf. Ein u sichtiger Schirm wird so aufgestellt, daſs er das Gesicht des Beobachteten bes

bachter bringt zuerst den Spiegel, ohne hindurchzusehen, ungefähr in die Stellung vor das Gesicht des Beobachteten, und dreht ihn so, dafs die Glasplatten hellen Reflex auf das zu beobachtende Auge werfen. Dann blickt er und erblickt nun die Netzhaut roth erleuchtet. Wenn er nicht sogleich sein die feineren Theile der Netzhaut accommodiren kann, dreht er mit dem Zeiger Hand, welche das Instrument hält, eine der Scheiben, welche die Linsen is er die passende Concavlinse gefunden hat.

n die Beleuchtung der Netzhaut verschwindet, achte man nur auf den hellen r Glasplatten im Gesichte des Beobachteten und führe diesen wieder auf das ck.

ugenspiegel von RUETE[1], mit durchbohrtem Concavspiegel, auf Stativ n *Fig. 115.* Auf einem runden Fufse von Holz ruht eine hohle Säule *a*, in nkanale sich ein runder Stab *b* von Holz befindet, der hoch und niedrig und durch eine Feder, die sich am unteren Ende desselben befindet, in jeder Höhe festgestellt werden kann. Auf diesem Stabe sitzt ein Halbkreis von der sich mit dem Stabe hoch und niedrig, rechts und links stellen läfst. In albkreise ist ein in der Mitte durchbohrter Hohlspiegel *d* von etwa 3 Par. Zoll

ser und von einer 185
te von etwa 10
durch Schrauben,
h dem Bedürfnisse
der stärker auge-
rden können, so
dafs er um seine
Axe gedreht wer-
In der Mitte
befinden sich
Ringe *e* und
an die Säule
Jeder Ring
horizontal aus-
Arm *g* und *h*;
trägt einen ge-
Schirm, der
dient, um
Lampe vom
abzuhalten, an-

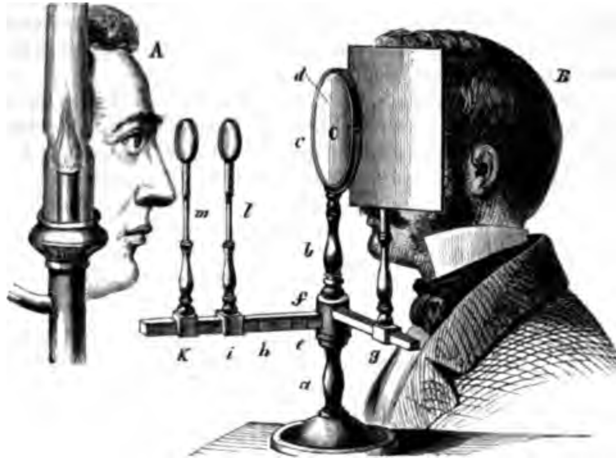



*Fig. 115.*

ach dazu, um, wenn es nöthig ist, das vom Spiegel in das beobachtete Licht abzuschwächen, was man dadurch bewirkt, dafs man einen Theil durch den Schirm beschattet. Der Arm *h*, welcher in 12 Zolle eingetheilt zwei verticale Säulen, *i* und *k*, die rück- und vorwärts geschoben werden n jeder verticalen Säule steckt ein am unteren Ende mit einer Feder versehener Messing *l* und *m*, den man auf- und abwärts schieben kann, und der durch in jeder Höhe, die man ihm giebt, festgehalten wird. Auf diese Stifte steckt nach den Umständen concave oder convexe Gläser, welche die aus dem be n Auge zurückkehrenden Lichtstrahlen zu einem deutlichen Bilde für den r vereinigen. *A* ist der Beobachtete, *B* der Beobachter. Die Zeichnung ergiebt Übrige.

Beobachtungen mit Concavlinsen, die in der augenärztlichen Praxis allerseltenere Anwendung finden, ist das Instrument nicht gut geeignet, weil den Augen nicht hinreichend nähern können, und deshalb das Gesichtsfeld and. Für Beobachtungen mit Convexlinsen dagegen, die ungeübten Beobachtern

1. RUETE, Der Augenspiegel und das Optometer. Göttingen 1852.

demonstrirt werden sollen, erscheint das Instrument bequem, namentlich, wenn ma einen Assistenten den Kopf des Beobachteten so dirigiren läfst, dafs seine Pupille Focus der Lichtstrahlen kommt; auch kann durch Anbringung einer zweiten c Ocularlinse (die dann aber wohl besser hinter dem Spiegel anzubringen wäre) kleinen Fernrohrs zusammengesetzt und eine stärkere Vergröfserung erreicht Die Helligkeit des Instruments ist sehr grofs. Gelegenheit, die Netzhautbilde obachten, ist nicht gegeben.

n 3) In praktischem Gebrauche geblieben ist schliefslich von diesem Inst nur der Concavspiegel *d*, an einem kleinen Handgriff befestigt, den der Beoba der rechten Hand hält, und die Convexlinse *m*, die er zwischen Daumen und Ze der linken Hand nimmt, während er den kleinen Finger der linken Hand auf da des Patienten stützt. Die Linse braucht er, wie S. 219 unten beschrieben i Convexspiegel hält er vor sein eigenes Auge, blickt durch die mittlere Öffn wendet ihn so, dafs der Reflex des Lichtes auf die Linse und durch dieselbe beobachtete Auge fällt

Von dieser Art ist der in der Graefe'schen Klinik üblich gewordene Liebreichsche **Augenspiegel** mit durchbohrtem belegtem Concavspiegel, n Convexlinsen (2 und 3 Zoll Brennweite) und 5 Linsen, die hinter dem Spiegel Gabel zu befestigen sind, um dem Beobachter die Accommodation zu erleichtern — 6, — 8, — 10, — 12 Zoll). Sie werden in grofser Zahl fabrikmäfsig dargest sind selbst in Westentaschenformat zu haben.

4) Epkens' Augenspiegel, verbessert von Donders und van Trigt[1], fe auf einem Gestell, hauptsächlich zu physiologischen Beobachtungen der Bilder Zeichnen brauchbar. Ein ebener durchbohrter Glasspiegel reflectirt das Licht, hinter sich die Rekoss'schen Scheiben mit Concavgläsern. Das Licht scheint du Röhre auf den Spiegel, die verlängert werden kann und an ihrem Ende zwei gegenüberstehende Metallspitzen trägt, deren Abstand durch eine Mikrometer regulirt werden kann. Der Beobachtete sieht sie in deutlichem Spiegelbilde, auf seiner Netzhaut ein deutliches Bild dersel kann die Beschaffenheit der optischen Bilder a Netzhaut, die Lage derselben und auch di der gesehenen Netzhauttheile ermittelt werden.



Fig. 116.

186 5) Portativer **Augenspiegel von Cocci** durchbohrtem, belegtem, ebenem Spiegel mit leuchtungslinse. Er ist abgebildet in *Fig. 116*. Da ment besteht aus einem viereckigen Planspieg 14 Par. Lin. Seite. Die Öffnung hat 2 Par. Lin messer, und ihr vorderer, dem beobachteten Au kehrter Rand ist etwas abgeschliffen. Der Sp in eine dünne Messingplatte gefafst, welche a untern Ende in einen kleinen Fortsatz überg an der Stange *b* befestigt ist. Die Beleucht hat 5 Zoll Brennweite; um sie aber auch n ren vertauschen zu können, ist sie in einen ge federnden Ring *f* eingesetzt, von der Stange
187 dem geschlitzten Querbalken *d* getragen. De wird durch festes Anschrauben des Griffes *e* festgeklemmt, um die Stellung der gen den Spiegel zu sichern, welche man gewählt hat. Auseinander genommen Instrument in ein kleines Etui gelegt werden.

---

[1] van Trigt, *Dissertatio de Speculo oculi.* Utrecht 1853. *Nederlandsch Lancet.* Ser. 3. Dl. I Deutsch von Schauenburg, Lahr 1854.

[2] A. Coccius, *Über die Anwendung des Augenspiegels, nebst Angabe eines neuen Instruments.* Le

rs bringt, wie RUETE, die Concavgläser wie die Convexgläser zwischen Spiegel t an. Da das Erstere wegen der Reflexe unvortheilhaft ist, hat man später lohlgläser in einem Schieberchen oder einzeln in Ringen an der Rückseite des ngebracht.

n seiner Beweglichkeit ist dieser Spiegel für ärztliche Zwecke wohl brauch- der von RUETE, aber jedenfalls schwerer zu richten, als der Concavspiegel e.

rtativer Spiegel von ZEHENDER,[1] mit durchbohrtem convexen Metallspiegel chtungslinse, mit ähnlicher Fafsung, wie der von COCCIUS. Im Wesentlichen let sich das Instrument von dem letzteren nur dadurch, dafs statt des ebenen ls ein convexer Metallspiegel von 6 Zoll Radius angebracht ist. Indem man :e Linse dem convexen Spiegel näher oder ferner stellt, erhält man ein reflec- rstem von veränderlicher Brennweite, was man den Umständen anpassen kann. tlicher Vortheil scheint mir noch in dem Umstande zu liegen, dafs der Spiegel l gefertigt ist, und daher der Rand des Sehlochs dünn, gut geschwärzt und reflectirende Unebenheiten ist. Vorher habe ich nachgewiesen, dafs bei den agen mit dem durchbohrten Spiegel und der Concavlinse zur Erlangung der Helligkeit nur die Hälfte des von einem Punkte der Netzhaut ausgehenden ındels in das Auge des Beobachters fallen darf, falls nicht die Pupille des be- ı Auges den mehr als doppelten Flächeninhalt von der des Beobachters hat. ıchter wird daher in der Regel sich einen Theil seiner Pupille mit dem Rande ıg des Spiegels verdecken müssen, und einen Theil dieses Randes gerade vor haben. Es ist daher vortheilhaft, an diesem Rande Alles zu vermeiden, was ectiren könnte, und das ist bei ZEHENDERS Metallspiegeln viel besser erreicht ccIUS' Glasspiegeln.

ıerdings ist von LORING-WADSWORTH, COHN, v. WECKER, KNAPP, LANDOLT das n er REKOSS'schen Scheiben sehr ausgebildet worden, indem bis zu 29 kleine ıa verschiedener Brennweite, theils in einer, theils in zwei hinter einander Scheiben sich vereinigen. Sie werden Refractions-Ophthalmoskope genannt, a hauptsächlich dazu, die Sehweiten des beobachteten Auges zu controlliren.

en Beobachtungen, welche mit dem Augenspiegel an normalen Augen an 187 ınd, erwähne ich Folgendes. Der Grund des Auges erscheint bei starker Be- mit belegten Spiegeln und Convexlinsen) roth, nur die Eintrittsstelle des Seh- ichnet sich hellweifs ab Man sieht auf dem rothen Grunde zunächst die efäfse verlaufen, deren Stämme aus der Mitte des weifsen Sehnerven hervor- ie Arterien sind durch ihre lichtere rothe Farbe und durch einen stärkeren an ihrer Oberfläche zu erkennen. Zwischen den Netzhautgefäfsen erscheint des Auges je nach der Menge des Pigments bald hellroth, bald braun, und ınt. namentlich an den mehr zur Seite gelegenen Theilen sehr häufig die Ge- Aderhaut, wie es in *Taf. II Fig. 1* dargestellt ist. Man sieht in der Mitte die 188 elle des Sehnerven; *a a a* sind Äste der Netzhautarterie, *b b b* der Netzhautvene, ı sieht man die viel weiteren Gefäfse der Aderhaut. Letztere sind nicht immer ıtlich; in den meisten Augen ist die Pigmentschicht über diesen Gefäfsen so sie sich dadurch von den stärker pigmentirten Zwischenräumen abheben.

arker Beleuchtung zeigt der Augengrund keine auffallenden Unterschiede in der mit Ausnahme der Eintrittsstelle der Sehnerven. Es scheint, dafs dabei verhältnifs- Licht durch die Pigmentschicht dringt, von den Gefäfsen der Aderhaut und der reflectirt wird und wieder zurückkehrt. Dafs bei den meisten Augen ziemlich durch die Augenhäute dringen kann, zeigt uns der Versuch (§ 10, S. 86), bei ı- Netzhautbildchen im inneren Augenwinkel sichtbar wird, und ferner die Erscheinung der Aderfigur der Netzhaut mittels Lichts, welches die Sclerotica

[1] ZEHENDER. *Gräfe's Archiv für Ophthalm.* 1854. I. S. 121.

durchdringt (s. S. 193). Dieser Theil des zurückkehrenden Lichts, welcher von der Refle
in der Aderhaut und Sehnenhaut herrührt, bleibt nun wohl ziemlich gleich auf a
Stellen des Augengrundes, auch wenn die Helligkeit der Netzhaut selbst variirt.

Bei schwacher Beleuchtung (mit reflectirenden Glasplatten) erscheinen dagegen
Theile des Augengrundes in der Nähe des Sehnerven besonders hell, und die Hellig
nimmt von hier aus im Allgemeinen nach den Rändern der Netzhaut hin gleichmä
ab, nur die Stelle des directen Sehens zeichnet sich besonders durch geringe Hellig
und eine mehr gelbliche Farbe vor ihrer Nachbarschaft aus, was bei der stärkeren
leuchtung nicht der Fall ist. Der Grund davon ist wohl darin zu suchen, dafs
schwacher Beleuchtung nicht merklich viel Licht durch die Pigmentschicht hin und
rück geht, daher der wahrnehmbare Lichtreflex hauptsächlich von den Theilen der N
haut, namentlich ihren Gefäfsen herrührt. Letztere fehlen an der Stelle des dir
Sehens.

Die letztere Stelle zeigt bei beiden Beobachtungsweisen ein kleines lichtes Fleck
von querovaler Form, welches Coccius, der es zunächst bemerkte, als den Reflex
Netzhautgrube bezeichnet, während Donders später direct nachwies, dafs dieser kl
Lichtreflex die Stelle des directen Sehens einnimmt.

Man mufs zu diesem Versuche einen ebenen Spiegel anwenden, hinter welchem
Concavlinse steht (Donders-Epkens oder Helmholtz). Als Gesichtsobject benutze
eine Lichtflamme oder das Mikrometer an Donders' Instrumente. Das beobachtete A
sieht das gewählte Object im Spiegelbilde; man sorge, dafs es sich gehörig dafür ac
modiren könne, und lasse es einen bestimmten Punkt des Objects fixiren. Der Beobac
erblickt dann ein ganz scharf gezeichnetes umgekehrtes Bild des Objects auf der Netz
des beobachteten Auges und an der direct fixirten Stelle den Reflex der Netzhautgr
Sollte dieser zu schwach sein, um von Anfang her wahrgenommen zu werden, so
schieht dies leichter, wenn der Beobachter den Beobachteten bald auf diesen, bald
jenen Theil des Gesichtsobjects seinen Blick zu richten heifst. Der kleine Reflex
dert dann dem entsprechend auf dem Netzhautbilde umher.

Um die Genauigkeit des Netzhautbildes zu prüfen, ist das von Donders an
Augenspiegel von Epkens angebrachte Mikrometer zweckmäfsig zu gebrauchen.
meinen Spiegel wähle ich zu dem gleichen Zwecke als Gesichtsobject einen vor e
Lichte in horizontaler Richtung ausgespannten Faden. Von verticalen feinen Li
giebt mein Instrument nämlich wegen der mehrfachen reflectirenden Flächen mehrf
189 Bilder. Sobald das beobachtete Auge sich scharf für das betreffende Object accommo
erscheint es auch im Netzhautbilde ganz scharf. Sowie sich die Accommodation än
wird es verwaschen. Übrigens braucht man gar nicht so feine Objecte, um die V
derung des Bildes bei der Accommodation zu sehen. Es genügt, wenn das beobac
Auge nicht kurzsichtig ist, in der Ferne ein Licht aufzustellen, dessen Netzhautbild
beobachteten Auge man betrachtet, während dieses Auge abwechselnd nach einem fe
oder nahen Gesichtspunkte, die in gleicher Richtung liegen, hinblickt. Bei der Ac
modation für die Ferne erscheint auch das Bild des fernen Lichts deutlich, bei der
commodation für die Nähe wird es verwaschen. Meistens verschwinden dem Beoba
dabei auch die Netzhauttheile des beobachteten Auges, wenn er mit der Accommod
seines Auges der neuen Lage des Bildes nicht folgen kann, und er mufs dann ein an
Concavglas gebrauchen, um sich zu überzeugen, dafs auf der deutlich gesehenen Netz
des beobachteten Auges ein undeutliches Bild des fernen Lichts entworfen sei. Der
such kann auch so abgeändert werden, dafs das beobachtete Auge fortdauernd in
Ferne sieht, das Licht aber in die Nähe gebracht wird, damit sich der Beobachter
zeuge, dafs von dem nahen Lichte ein undeutliches Bild entworfen werde.

Historisch. Das Augenleuchten ist seit ältester Zeit bekannt an den Augen von
den, Katzen und anderen Thieren, welche im Hintergrunde ihres Auges ein Tapetum,
eine pigmentlose, mit stark reflectirenden dünnen Fasern oder Lamellen belegte S
haben. Bei diesen ist der Lichtreflex so stark, dafs er unter einigermafsen güns

[illegible] Licht gesehen wird. Eine sehr allgemein verbreitete alte Meinung war es, [illegible] genannten leuchtenden Thieraugen Licht entwickeln sollten, namentlich wenn [illegible] gereizt würden, daher man denn geneigt war, diese angeblich vorhandene [illegible] dem Einflusse des Nervensystems zuzuschreiben. Man sieht das [illegible] der Thieraugen in dunklen Räumen am auffallendsten, wenn Licht von der [illegible] des Beobachters dicht neben seinem Kopfe vorbei in das Auge des Thieres [illegible] deshalb konnte den Beobachtern oft das wirklich einfallende Licht ver[illegible] Ebenso sollten die pigmentlosen Augen weifser Kaninchen und albino[illegible] Menschen durch eigene Lichtentwickelung leuchten. PREVOST[1] zeigte zuerst, [illegible] sogenannte Leuchten der Thieraugen niemals in vollkommener Dunkelheit und [illegible] noch durch Affecte hervorgebracht wird, sondern stets nur durch Re[illegible] einfallendem Lichte entstehen kann. GRUITHUISEN[2] hat unabhängig hiervon [illegible] gefunden, er weist nach, dafs das Tapetum daran Schuld sei, verbunden mit [illegible] außerordentlichen Brechung der Linse. Auch in den Augen todter Thiere sah [illegible] Leuchten. Diese Thatsachen bestätigten RUDOLPHI[3], J. MÜLLER[4], ESSER[5], TIEDE[illegible][6], HASSENSTEIN[7]. RUDOLPHI macht darauf aufmerksam, dafs man in einer bestimmten [illegible] in das Auge sehen müsse, um das Leuchten wahrzunehmen. ESSER erklärt [illegible] Wechsel der Farbe daraus, dafs verschiedene gefärbte Theile der Netzhaut [illegible] Pupille erblickt würden. HASSENSTEIN endlich findet, dafs das Leuchten her[illegible] wenn die Augen in Richtung ihrer Axe comprimirt werden, und vermuthete, [illegible] lebende Thiere das Leuchten willkürlich erregt werde, indem durch den [illegible] Muskeln die Augenaxe verkürzt werde. Man erkannte also das Leuchten als [illegible] an, ohne sich aber klar zu machen, von welchen Bedingungen das [illegible] Nachtleuchten abhinge.

A[illegible] menschlichen Augen war das Leuchten früher nur bei seltenen Krankheits[illegible] beobachtet worden, namentlich bei Geschwülsten im Hintergrunde des Auges. [illegible] Mangel der Iris hat BEHR[8] es gesehen und gefunden, dafs die Augen des [illegible] ganz parallel mit den einfallenden Strahlen nach den Augen der Kranken [illegible] welches die Grundbedingung von BRÜCKE's Methode, das Augenleuchten [illegible] Das Leuchten ist in solchen Fällen von Irismangel auffallender, [illegible] der Netzhaut viel stärker ist, außerdem fehlt die Accommodations[illegible]

[illegible] W[illegible] und BRÜCKE[10] [illegible] das Verfahren, [illegible] Augen leuchtend erscheinen zu machen, [illegible] der Beobachter den [illegible] Lichtstrahlen [illegible] hineinblickt. Letzterer hat dieselbe Methode [illegible] Tapetum versehener Thieraugen angewendet. Endlich [illegible] das BARBAY ungefähr zu derselben Zeit [illegible] einen belegten [illegible] dessen Belegung eine kleine Stelle weggenommen war, um [illegible] werfen und durch die Öffnung hineinzusehen. Dies erinnert schon [illegible] Augenspiegel von COCCIUS, aber da BARBAY keine Linsen mit seinem [illegible] hat er höchstens ausnahmsweise von den Theilen [illegible] und hat deshalb [illegible] Erfindung damals [illegible]

[illegible]

[illegible] Leipzig [illegible]

[illegible] VIII [illegible]

[illegible] Jena [illegible]

[illegible] XXIX [illegible]

[illegible] 1844. II.

Die andere Seite der Frage, warum nämlich die Theile der Netzhaut, auch sie beleuchtet sind, z. B. in Thieraugen mit Tapetum, in Augen von Albinos, dem bachter nicht erkennbar sind, ist öfter besprochen worden. Ihre Lösung lag mehı der Hand. Schon im Anfange des 18. Jahrhunderts hatte Méry[1] beobachtet, da bei einer Katze, die er unter Wasser getaucht hatte, in den Augen, welche stark l tend erschienen, die Netzhautgefäfse erkennen konnte. La Hire[2] gab von diesem teren Umstande die richtige Erklärung. Dafs eine veränderte Brechung der Str nothwendig sei, um das Auge leuchtend erscheinen zu machen, sah er ein, aber nähere Erklärung weifs er nicht zu geben. Ebenso Kussmaul[3]. Letzterer zeigt, die Netzhaut hell und erkennbar werde, wenn man entweder vorn vom Auge die I haut und Linse entfernt, oder etwas vom Glaskörper herausnimmt und dadurch Augenaxe verkürzt.

Ich selbst[4] bin, so viel ich finde, der Erste gewesen, welcher sich den Zusam hang zwischen den Richtungen der einfallenden und ausgehenden Strahlen klar ma den wahren Grund für die Schwärze der Pupille und dadurch auch das Princip für Construction der Augenspiegel fand. Zur Beleuchtung wendete ich ebene unbe Glasplatten an, zur Erkennung der Netzhaut Concavgläser. Th. Ruete war dag der Erste, welcher einen durchbohrten Spiegel anwandte, und die Beobachtung d Convexlinsen. Da das neue Instrument in kurzer Zeit eine aufserordentliche Wichti in der Augenheilkunde erreichte, sind nachher noch eine grofse Zahl verschied Formen von Augenspiegeln construirt worden, von denen ich oben die wichtigsten geführt habe. Wesentlich neue Principien für die Erleuchtung oder Erkennung Netzhaut sind dabei aber nicht mehr gefunden worden.

Die von mir aufgestellte Theorie des Augenleuchtens und der Augenspiegel keine wesentlichen Veränderungen erfahren. Die Verbesserungen, welche Stellwag Carion daran anzubringen gesucht hat, kann ich nicht als solche anerkennen. D übrigens um die Einführung physikalischer Kenntnisse in seine Wissenschaft eifrig mühte Augenarzt ist bei den hierher gehörigen Arbeiten durch falsche Grundprinz über die Stärke der Beleuchtung und Helligkeit durchaus irre geführt worden.

[1] J. Méry, *Annales de l'Acad. d. sc.* 1704.
[2] Ph. de la Hire, ebenda. 1709.
[3] Kussmaul, *Die Farbenerscheinungen im Grunde des menschlichen Auges.* Heidelberg 1845.
[4] H. Helmholtz, *Beschreibung eines Augenspiegels zur Beobachtung der Netzhaut im lebenden Auge.* I
1851 Ferner in *Vierordt's Archiv für physiol. Heilkunde.* II. 827.

## Zweiter Abschnitt.

### Die Lehre von den Gesichtsempfindungen.

#### § 17. Von der Reizung des Sehnervenapparates.

**Die Nervenapparate** des menschlichen und thierischen Körpers werden 191
**h Einwirkung** äufserer Agentien verschiedener Art in einen veränderten
**tand versetzt,** den man einerseits an ihnen durch physikalische Hülfs-
**el, nämlich** durch die Untersuchung ihrer elektromotorischen Wirksamkeit
**nnen kann,** und der sich andererseits durch Wirkungen zu erkennen
t, welche die Nerven in anderen mit ihnen organisch verbundenen Thei-
les Körpers hervorbringen. So verräth sich dieser veränderte Zustand
er Nerven durch Zusammenziehungen der mit ihnen verbundenen Mus-
; diese werden motorische Nerven genannt. Andere erregen unter
elben Umständen Empfindungen in dem Gehirne, als dem körperlichen
ne des Bewufstseins, und heifsen deshalb sensible Nerven. Bei den
rischen Nerven ist nun der auffälligste Erfolg der verschiedenartigsten
ren Einwirkungen, des Zerrens, Quetschens, Zerschneidens, des Bren-
. Anätzens, der elektrischen Durchströmungen, immer die Zusammen-
ng des zugehörigen Muskels, welche nur quantitative Unterschiede der
e zeigt. Man fafst deshalb die genannten verschiedenartigen Einwir- 192
en in ihrem Verhältnisse zu den motorischen Nerven unter einen Namen,
der Reize, zusammen, indem man von ihren qualitativen Verschieden-
n abstrahirt und sie nur nach der verschiedenen Stärke der Zuckungen,
he sie hervorbringen, quantitativ als stärker oder schwächer reizend von
nder unterscheidet. Den veränderten Zustand im Nerven selbst, welcher
olge der Einwirkung eines Reizes eintritt, nennt man die Reizung,
die Fähigkeit des Nerven, nach Einwirkung von Reizen Muskelzuckungen
orzubringen, die Reizbarkeit. Diese Fähigkeit kann durch Absterben
mancherlei äufsere Einwirkungen beeinträchtigt werden.

Bei den sensiblen Nerven läfst sich das Schema dieser Begriffe insofern wieder anwenden, als auch in ihnen die äufseren Einwirku welche, auf einen motorischen Nerven angewendet, Zuckungen hervorzubri vermögen, wiederum alle eine andere Wirkung eigenthümlicher Art, nä eine Empfindung hervorrufen, so lange der Nerv noch nicht abgest und vom Gehirne getrennt ist. Aber allerdings tritt hier schon der we liche Unterschied ein, dafs die Empfindung qualitative Unterschiede entsprechend den qualitativen Unterschieden der Einwirkung. Inde wenn auch verschiedene Reize verschiedene Empfindungen hervorrufe sind die Wirkungen der Reize doch immer Empfindungen, also immer kungen, von einer sonst nicht vorkommenden, dem lebenden Körper e thümlichen Art, und eben deshalb hat man den zuerst für die Verhält der motorischen Nerven abstrahirten Begriff der Reize und der Rei auch auf die der sensiblen Nerven übertragen, und man nennt de ebenso die äufseren Einwirkungen, welche auf lebende sensible Nerven gewendet die Entstehung von Empfindungen veranlassen, Reize, die Nerven eingetretene Veränderung selbst die Reizung.

Der Zustand der Reizung, welcher an jeder Stelle einer Nerven durch Einwirkung von Reizen eingeleitet werden kann, pflanzt sich stets auf alle anderen Theile der Nervenfaser fort, und giebt sich auch in d theils durch die veränderten elektromotorischen Wirkungen zu erke theils durch seinen Einflufs auf die anderen organischen Gebilde, Mus Gehirn, Drüsen u. s. w., mit denen der Nerv verbunden ist, indem Zusan ziehung des Muskels, oder Empfindung, oder vermehrte Absonderung Drüse eintritt. Nur wo eingreifende Veränderungen der Structur des N durch mechanische oder chemische Eingriffe, durch Gerinnung des In der Nervenfasern beim Absterben eingetreten sind, findet die Fortleitung Reizung ein Hindernifs. Jeder Stelle einer unverletzten Nervenfaser k deshalb nicht blofs Reizbarkeit, d. h. die Fähigkeit, in Reizung ve zu werden, sondern auch Leitungsfähigkeit für die Reizung zu. Trennung beider Fähigkeiten ist noch nicht beobachtet worden. Übr sind bisher noch keine Unterschiede in der Structur und Function der sibLen und motorischen Fasern bekannt, welche nicht von ihrer verschie Verbindung mit anderen organischen Systemen hergeleitet werden kö Die Fasern selbst scheinen nur die Rolle indifferenter leitender Fäde spielen, die, je nachdem sie mit einem Muskel oder mit empfind Gehirntheilen organisch verbunden sind, als motorische oder sensible ven wirken.

19; Die Empfindungen des Menschen zerfallen ihrer Qualität nach in Gruppen, welche den sogenannten fünf Sinnen entsprechen, in der V dafs nur die Qualitäten derjenigen Empfindungen unter einander verglei sind, welche dem Qualitätenkreise desselben Sinnes, nicht aber solche, w zwei verschiedenen Sinnen angehören. So können wir z. B. zwei verschi

lungen, die dem Gesichtssinne angehören, nach Lichtintensität und ergleichen, aber keine von ihnen mit einer Tonempfindung oder Gepfindung.

· physiologische Erfahrung hat, soweit Prüfung möglich war, gefunden, irch Reizung jeder einzelnen sensiblen Nervenfaser nur Empfindungen entstehen können, welche dem Qualitäten- eines einzigen bestimmten Sinnes angehören, und dafs Reiz, welcher diese Nervenfaser überhaupt zu erregen ver- ıur Empfindungen dieses besonderen Kreises hervorruft. dig experimentell beweisen läfst sich der Satz nur für solche Nerven- die in besonderen Nervenstämmen, getrennt von allen Fasern, die Sinnen angehören, zusammenliegen, wie die des Gesichtssinnes im *opticus*, die des Gehörs im *Nervus acusticus*, die des Geruchs im *olfactorius*, die des Tastsinns in den hinteren Rückenmarkswurzeln. an auf diese Nervenstämme verschiedene Reizmittel einwirken, so n zwar verschiedene Empfindungen, aber nur Empfindungen, die dem enkreise des betreffenden Sinnes angehören. Für solche sensible asern dagegen, die mit Fasern anderer Art in demselben Stamme n, wie die Geschmacksnerven mit Tastnerven der Zunge im *Nervus mpathicus* und *lingualis* vereinigt sind, läfst sich dasselbe Verhältnifs ens daraus wahrscheinlich machen, dafs in Krankheitszuständen zu- isolirt Lähmung der Geschmacksempfindungen allein ohne Lähmung empfindungen oder umgekehrt vorkommt, und auch daraus, dafs alle Tastnerven der Fähigkeit, Geschmacksempfindungen zu vermitteln, ...n.

.. Kreise des Gesichtssinns gehören die Lichtempfindungen an, ... unter sich in Bezug auf Lichtstärke und Farbe vergleichbar ... jenigen Theil der Nervenmasse des Körpers, durch dessen Reizung ... Empfindungen entstehen können, nennen wir nach J. MÜLLER ...sinnsubstanz, oder auch wohl den Sehnervenapparat. Dazu ... Netzhaut, der Sehnerv und ein begrenzter Theil des Gehirns, in die Wurzelfaserungen des Sehnerven eintreten. Kein anderer Nerven- ...es Körpers kann Lichtempfindung, d. h. eine Empfindung von der- qualität wie der Sehnervenapparat vermitteln, obgleich die leuchten- ...rschwingungen auch durch die Tastnerven wahrgenommen werden aber freilich in einer ganz anderen Empfindungsqualität, nämlich als ...ng strahlender Wärme. Es findet hier dasselbe statt, wie bei den ...ungungen, welche der Hörnerv als Ton empfindet, während sie ... in der Haut die Tastempfindung des Schwirrens erregen, dasselbe ... m Essig, den die Zunge als sauer schmeckt, und der in einer ent- Hautstelle oder auf einer zarten Schleimhaut, wie die Bindehaut ... ist, durch eine Tastempfindung, nämlich durch schmerzhaftes 194 ... sich bemerklich macht.

Andererseits können nicht blos die leuchtenden Ätherschwingunge Sehnervenapparat erregen, sondern auch mannigfache andere Reiz namentlich mechanische Einwirkungen und elektrische Ströme, wel auch alle anderen Nervenapparate des Körpers in den Zustand von R zu versetzen vermögen. Wenn aber diese Reize den Sehnerven ode Netzhaut treffen, bringen sie immer nur Gesichtsempfindungen hervor, Gehörs- oder Geruchsempfindungen, und wenn sie etwa gleichzeitig empfindungen erregen, so müssen wir voraussetzen, dafs dies geschieh sich im Auge und vielleicht selbst in der Masse des Sehnerven, wie in inneren Theilen des Körpers, auch besondere Tastnerven verbreiten. Tastempfindungen, welche durch Einwirkung von Druck oder Elekt auf das Auge entstehen, unterscheiden sich übrigens noch dadurch vo gleichzeitig erregten Lichtempfindungen, dafs jene am Orte der R wahrgenommen werden, letztere dagegen von der Vorstellung als hell jecte in das Gesichtsfeld verlegt werden. Wir kommen darauf be genaueren Beschreibung der mechanischen Reizung des Auges noch zurück.

Da es sich mit den übrigen Sinnesnerven ebenso verhält, so geh raus hervor, dafs die Qualität der sinnlichen Empfindung hauptsächlic der eigenthümlichen Beschaffenheit des Nervenapparats abhängt, er zweiter Linie von der Beschaffenheit des wahrgenommenen Objects. Zu Qualitätenkreise welches Sinnes die entstehende Empfindung gehört, sogar gar nicht von dem äufseren Objecte, sondern ausschliefslich vo Art des getroffenen Nerven ab. Welche besondere Empfindung aus betreffenden Qualitätenkreise hervorgerufen wird, erst dies hängt auc der Natur des äufseren Objectes ab, welches die Empfindung erregt uns die Sonnenstrahlen als Licht- oder Wärmestrahlung erscheinen, nur davon ab, ob wir sie durch den Sehnerven oder durch die Hautn empfinden; ob sie aber als rothes oder blaues, schwaches oder starkes sengende oder milde Wärme erscheinen, hängt gleichzeitig von der A Strahlen, wie von dem Zustande des Nervenapparates ab. Die Qualit Sinnesempfindung ist also keineswegs identisch mit der Qualität des O durch welche sie hervorgerufen wird, sondern sie ist in physischer Bezi nur eine Wirkung der äufseren Qualität auf einen besonderen N apparat, und für unsere Vorstellungen ist die Qualität der Empfindung g sam nur ein Symbol, ein Erkennungszeichen für die objective Qualit

Das erste und hauptsächlichste Reizmittel des Sehnerven ist das o tive Licht. Ich nenne es das erste und hauptsächlichste, weil e weitem häufiger und anhaltender auf den Sehnerven einwirkt, als a Reize, und weil demgemäfs auch fast nur die durch objectives Licht h gerufenen Empfindungen des Sehnervenapparates zur Wahrnehmung äu Objecte verwendet werden. Eine besondere specifische Beziehung ode ungeneität zwischen dem objectiven Lichte und dem Nervenagens der nerven, wie sie von älteren Philosophen und Physiologen meist vorausg

brauchen wir deshalb nicht anzunehmen. Denn weder ist der Sehnerv
ige Nerv, welcher durch objectives Licht gereizt wird — auch die 195
ven können es werden — noch ist das objective Licht das einzige
tel des Sehnerven. Dafs es das häufigste, und deshalb wichtigste
lärt sich einfach aus der geschützten Lage des Sehnerven und der
t, die dem Lichte sehr leicht, mechanischen Eindrücken und elek-
Strömungen viel schwerer zugänglich sind. Diese überwiegende
eit und Wichtigkeit der Reizung durch objectives Licht hat nun auch
nschen bestimmt, denjenigen Theil der Ätherschwingungen, welche
pfindung zu erregen im Stande ist, mit dem Namen Licht zu be-
welcher eigentlich nur der dadurch erregten Empfindung zukommen
Man schied die Sonnenstrahlen in Sonnenlicht und Sonnenwärme,
n beiden Empfindungsweisen, welche sie zu erregen im Stande sind.
ge die Menschen über die Natur ihrer Sinnesempfindungen nicht
nachgedacht hatten, mufsten sie geneigt sein, die Empfindungsquali-
unmittelbar auf die äufseren Dinge zu übertragen, und so in den
strahlen zwei, den zwei Empfindungen entsprechende Objecte voraus-
n. Man wufste aufserdem zunächst über die Sonnenstrahlen weiter
als was die Empfindung aussagte, und man beobachtete neben solchen
ngen, bei denen, wie in den Sonnenstrahlen, die schneller schwingen-
ellenzüge überwiegen, die das Auge viel stärker afficiren als die
andere, in denen die langsameren Oscillationen überwiegen, und die
at kräftig, das Auge schwach oder gar nicht afficiren, so dafs auch
r eine Trennung beider Agentien vorzukommen schien. Erst in der
n Zeit hat eine sorgfältige Untersuchung der von unseren Nerven-
en unabhängigen Eigenschaften der leuchtenden und nicht leuchten-
nnestrahlen die Physiker überzeugt, dafs zwischen ihnen kein anderer
hied als der der Schwingungsdauer besteht, und hat dadurch die
von dem Einflusse, den die Sinnesempfindungen in diesem Falle so
nberechtigter Weise ausgeübt hatten, befreit. Die nähere Besprechung
ctiven Lichtes als Reizmittel der Netzhaut bleibt den nächstfolgen-
ragraphen vorbehalten.

Erscheinungen bei mechanischer Reizung des Sehnervenapparates
h der Ausdehnung der Reizung verschieden. Bei einem plötzlichen
der Stofs auf das Auge entsteht ein blitzähnlich erscheinender und wie-
hwindender, oft sehr heller Lichtschein über das ganze Gesichtsfeld hin.
rrthümlichen Erklärungen dieser Erscheinung gegenüber mag hier her-
en werden, dafs wenn dies im Dunkeln geschieht, ein anderer Beobach-
i in dem Auge des Getroffenen keine Spur von objectivem Lichte er-
o lebhaft auch der subjective Blitz sein mag, und dafs es ebenso
oglich ist, durch diese subjective Erleuchtung des dunkeln Gesichts-
gend etwas von den wirklichen Objecten der Aufsenwelt zu erkennen.[1]

---

[1] ...n gerichtlichen Fall, wo Jemand im Finstern einen Schlag auf das Auge bekommen und bei ... erregten Lichtschein den Angreifer erkannt haben will, s. J. MÜLLER, ... 1834 S. 140.

Besser untersuchen läfst sich die Wirkung beschränkten Druckes. We man irgendwo am Rande der Augenhöhle mit einer stumpfen Spitze, z. der des Fingernagels, gegen den Augapfel drückt, so entsteht eine Li
196 erscheinung, **Druckbild** oder **Phosphen**, und zwar an derjenigen Stelle d Gesichtsfeldes, welche der gedrückten Stelle der Netzhaut entspricht. We man oben drückt, erscheint also der helle Fleck an der unteren Grenze d Gesichtsfeldes, drückt man am äufseren Augenwinkel, so erscheint er Nasenrücken, drückt man unten oder innen, so erscheint er oben oder auf Wenn der drückende Körper nicht breit ist, hat die Erscheinung gewöhnl ein helles Centrum, umgeben von einem dunklen und einem hellen Kre Ich finde, dafs sie am hellsten ist, wenn der Druck etwa den Äquato umfang des Auges trifft, wo die Sclerotica am dünnsten ist. Das Druckb erscheint dann an der Grenze des dunkeln Gesichtsfeldes als eine h Bogenlinie, etwa halbkreisförmig. Es ist unter diesen Umständen ziem weit von dem Gesichtspunkte (dem am genauesten gesehenen Punkte Gesichtsfeldes, welcher dem gelben Fleck entspricht) entfernt, und fällt halb, wenn man die Augen öffnet, mit dem Bilde äufserer Gegenstände sammen, die nur undeutlich wahrgenommen werden. Doch erkennt man einiger Übung im indirecten Sehen, namentlich wenn sich auffallend h Gegenstände am scheinbaren Orte des Druckbildes befinden, dafs die O jecte in der Gegend des Druckbildes Verzerrungen (wegen der Einbie der Sclerotica und Retina) erleiden, und oft auch stellenweise verdun werden. Man kann aber das Druckbild auch dem Gesichtspunkte näh bringen, wenn man das Auge stark nach innen wendet, während man au drückt oder stark nach aufsen wendet, während man am inneren Au winkel drückt, dabei wird es ein wenig schwächer, weil die hintere Flä der Sclerotica dem Drucke gröfseren Widerstand leistet. Einzelnen Pers (z. B. Thomas Young) gelingt es auch wohl durch Druck am äufseren Au winkel das Druckbildchen bis an die Stelle des directen Sehens vorzubring Mir gelingt dies nicht, doch kommt das Druckbildchen dem Gesichtspun so nahe, dafs ich wahrnehmen kann, wie in seinem Centrum die Bilder äufseren Gegenstände verschwinden. In *Fig. 8, Taf. I.* ist das Druckb dargestellt, wie es mir erscheint, wenn ich zwischen Auge und Nase weifses Papierblatt gegen das Gesicht stelle, das Auge möglichst nach inneren Seite wende, und mit einer stumpfen Spitze am äufseren Rande Augenhöhle drücke. *N* bezeichnet die Nasenseite; das Druckbild best aus einem dunkeln Flecke, von einem hellen senkrechten Streifen dur zogen. Von dem dunkeln Flecke geht, wenn man in richtiger Höhe drü ein horizontaler Fortsatz aus, dessen Spitze bei *a* den Fixationspunkt rührt, und aufserdem ist in der Gegend des Sehnerveneintritts ein unbesti gezeichneter Schatten *b* sichtbar. Wie man die Stelle des Sehnervenei im Gesichtsfelde erkennen kann, wird in § 18 auseinandergesetzt w Ein System feiner paralleler bogenförmiger Linien zwischen dem d Druckbilde und dem Gesichtspunkte hat schon Purkinje bemerkt u

Ich sehe sie nicht so ausgebildet, wie er sie abbildet, am besten, r Helligkeit der entsprechenden Stelle des Gesichtsfeldes grofs ist. dunkeln Gesichtsfelde dagegen erscheint eine helle gelbliche Kreis- n deren Innerem sich zuweilen ein dunkler Fleck oder ein dunkler zeichnet. Ein schwaches Licht erscheint auch an der Eintrittsstelle nerven, sodafs die Erscheinung ungefähr der *Fig. 8, Taf. I.* ent- wenn man Hell und Dunkel vertauscht denkt. Nur den Fortsatz 197
ben Fleck hin habe ich im dunkeln Felde nicht sehen können.

der anders sind die Erscheinungen, wenn man längere Zeit einen Druck gleichmäfsig auf den Augapfel wirken läfst, indem man ihn her entweder mit den weicheren Stellen der Handwurzel oder mit mmengelegten Fingerspitzen einer Hand drückt. Nach kurzer Zeit lann sehr glänzende und wechselnde lichte Figuren im Gesichtsfelde ein wunderliches, phantastisches Spiel vollführen und oft den glän- kaleidoskopischen Darstellungen, wie sie in neuerer Zeit mit Hülfe trischen Lichts entworfen werden, ähnlich sind. PURKINJE hat diese ungen sehr genau verfolgt, beschrieben und abgebildet; sie scheinen n Augen eine grofse Regelmäfsigkeit gehabt zu haben. Meist zeig- auf einem mit feinen Vierecken regelmäfsig gemusterten Grunde r achtstrahlige sternförmige Figuren, oder dunkle oder helle rhom- Flachen, deren Diagonalen vertical und horizontal gerichtet waren, von abwechselnd hellen und dunkeln Bändern umgeben waren. Bei bst finde ich keine solche Regelmäfsigkeit der Figuren; der Grund sichtsfeldes ist meist anfangs fein gemustert, aber in den mannigfal- Weisen und mit den verschiedensten Farben, sehr oft als wären le feine Blattchen oder Moosstengel ausgestreut, ein anderes Mal en ... Vierecke, hell braungelb, mit dunkeln griechischen Linien- zuletzt entwickeln sich meist auf braungelbem Grunde dunkle ... die zuweilen sehr verwickelte sternförmige Figuren, zuweilen unentwirrbares labyrinthisches Knäuel bilden, und in fortdauernder ... oder strömender Bewegung begriffen sind. Aufserdem pflegen r helle blaue oder rothe Funken in einzelnen Stellen des Feldes Zeit zu erhalten. Lafst man mit dem Drucke nach, wenn die Er- ... im gröfsten Glanze entwickelt ist, ohne dafs äufseres Licht in das ... so dauert das Spiel ahnlicher Figuren noch eine Zeit lang ... verschwindet, allmalig dunkler werdend. Öffnet man dagegen das ... wenn man mit dem Drucke nachläfst, gegen helle äufsere Objecte, ... im ersten Momente Dunkelheit, dann werden allmalig in der ... Gesichtsfelds einzelne helle Objecte, aber mit intensivem Glanze So sehe ich z. B. einzelne weifse Papierblatter in ihrer wahren ... blendender Helligkeit auftauchen, auf ihnen aber noch Reste des ... Figurenmusters sichtbar, dessen dunkle Theile hier hell ... Allmalig verliert sich dann die abnorme Helligkeit in demselben ... es die Druckbilder vor dem geschlossenen Auge thun, aber

noch längere Zeit unterscheidet sich das gedrückte Auge von dem
dadurch, dafs ihm das Gesichtsfeld mehr violett erscheint, dem ungep
Auge dagegen gelblich. VIERORDT und LAIBLIN berichten, bei anhalt
Druck auf das Auge die Verästelungen der Gefäfse der Netzhaut r
dunklem Grunde gesehen zu haben, was ich bisher vergebens versucht
Aufserdem erscheinen VIERORDT die Retinalgefäfse dabei häufig in
bläulich glänzenden Färbung. Ferner haben sie, wie auch früher STE
und PURKINJE, ein Gefäfsnetz mit strömendem Inhalte gesehen. L
erklärte es für das venöse Adernetz der Retina; LAIBLIN schliefst aus
198 Beobachtungen, da es neben den vorher erwähnten Retinalgefäfsen s
war, dafs die wahrgenommene Circulation „einer anderen gefäfsrei
mehr nach aufsen gelegenen Retinalschicht" angehören müsse. M
und mir selbst ist es nie gelungen, unter den Druckbildern des Auges
zuweilen aufblitzenden Zügen der bekannten Aderfigur der Netzhaut
einem Gefäfse Ähnliches zu sehen, und wenn ich auch als Schlufs
fast immer labyrinthische Liniensysteme in strömender Bewegung s
ist deren Anordnung doch mit keinem Gefäfsnetze zu vergleichen.
merken ist übrigens für die Theorie dieser Erscheinungen, dafs nac
von DONDERS mit dem Augenspiegel ausgeführten Untersuchungen
Druck auf das Auge allerdings Veränderungen in den Netzhautgefäfs
treten, indem zuerst die Venen zu pulsiren anfangen und später d
aus ihnen sich ganz entleert. Diese veränderten Zustände der
mögen von manchen Augen empfunden werden können. Sonst möch
die unruhigen und wechselnden Bilder, welche durch anhaltenden Dr
Auge erzeugt werden, mit dem Gefühle des Ameisenlaufens vergl
welches in eingeschlafenen Gliedern, deren Nervenstämme längere Zeit
Drucke ausgesetzt gewesen sind, eintritt. Wenn wir, schief auf eine
sitzend, den Hüftnerven drücken, verliert bald der Fufs und Unters
die Fähigkeit, Berührung äufserer Objecte zu empfinden; dagegen t
heftiges Kriebeln in den taub gewordenen Theilen der Haut ein, wel
ähnlicher Weise schnell wechselnde Erregungen der empfindenden N
fasern verräth, wie sie bei dem entsprechenden Zustande der Netzha
durch die wechselnden feinen Figuren im Gesichtsfelde zeigen. Wen
der Druck nachläfst, sind bei wiederkehrender Fähigkeit äufsere
wahrzunehmen, die ersten Berührungen des Fufses oft schmerzhaft, w
das Auge äufsere Gegenstände in blendendem Lichte wahrnimmt.

Ein anderes Phänomen, was einer mechanischen Reizung der N
anzugehören scheint, sind gewisse lichte Flecke, welche empfindliche
im dunkeln Gesichtsfelde sehen, wenn sie eine schnelle Beweg
Auges vollführen. In *Taf. I, Fig. 9*, sind sie abgebildet, wie sie im
schaftlichen Gesichtsfelde beider Augen mir erscheinen, wenn die A
Richtung des Pfeils nach links hin bewegt worden sind. Das mit *L* b
nete gehört dem linken, das andere dem rechten Auge an. Die Ersch
ist in dem nach einwärts bewegten Auge, hier dem rechten, weniger en

m nach auswärts bewegten. Ich selbst sehe sie nur des Morgens
ch dem Erwachen, oder bei Unwohlsein; andere Beobachter, wie
und CZERMAK[1], sehen sie zu jeder Tageszeit im Dunkeln als
Ringe oder Halbringe. Ihre Entfernung vom Gesichtspunkte ist
se, dafs ein Beobachter, der die später zu beschreibenden Phäno-
sogenannten blinden Flecks gut kennt, daraus schliefsen kann,
der Eintrittsstelle des Sehnerven angehören. Sie entstehen also
nlich dadurch, dafs bei schnellen Bewegungen des Auges der Seh-
Augapfel mit in Bewegung gesetzt und an seiner Eintrittsstelle 199
ird. PURKINJE[2] sieht an der Eintrittsstelle des Sehnerven auch
einen lichten Ring, wenn er das Auge stark nach innen wendet,
Mitte des Gesichtsfeldes umgeben von concentrischen hellen
während bei mir die Erscheinungen nur immer momentan auf-
Stellt man den Versuch mit offenem Auge vor einer weifsen gleich-
leuchteten Fläche an, so erscheinen bei starker Drehung des Auges
lecken dem Sehnerveneintritt entsprechend, die, wie CZERMAK be-
im Drehen nach innen leichter eintreten, und eine regelmäfsigere
annehmen als beim Drehen nach aufsen. In dem röthlichen Felde,
die geschlossenen und von aufsen beleuchteten Augenlider geben,
diese dunkeln Flecke blau. Ich selbst erkenne übrigens auch in
eln Flecken Spuren derselben Ährenform, welche die Lichterschei-
dunkeln Felde zeigt, während CZERMAK hervorhebt, dafs bei ihm
rscheinung nicht das negative Abbild der ersteren sei. Auch hier
also die gereizten Nervenfasern ihre Empfindlichkeit gegen äufsere
rch die Zerrung zu verlieren. Als gereizt mufs man in diesem
d die Fasern betrachten, die in unmittelbarer Nähe des Sehnerven
die Eintrittsstelle des Sehnerven selbst gegen Lichtreiz unempfind-
und daher nicht zu erwarten ist, dafs dort irgend welche der Licht-
ig fähige Fasern enden, bei deren Reizung eine Lichtempfindung ge-
diese Stelle des Gesichtsfelds verlegt werden könnte. Endlich ist
uch wohl das von PURKINJE[3] und CZERMAK[4] beobachtete Accom-
nsphosphen zu rechnen. Wenn man im Finstern die Augen für
n in nächster Nähe einrichtet und dann plötzlich wieder für die
commodirt, so bemerkt man nahe an der Peripherie des Gesichts-
ien ziemlich schmalen feurigen Saum, welcher, ringförmig in sich
rucklaufend, in dem Momente aufblitzt, wo man mit der fühlbaren
ing fürs Nahesehen nachläfst. PURKINJE sah die Erscheinung auch
lichem Nachlafs gleichmäfsigen Drucks auf das Auge. Ich selbst
früher nicht, neuerdings zuweilen undeutlich sehen können. CZER-
art sie dadurch, dafs im Momente, wo der Zug des Ciliarmuskels

[1] CZERMAK. *Physiologische Studien.* Abtheilung I. § 5. S. 42 u. Abth. II. S. 32. — *Wiener Sitzungsber.* 34
[2] PURKINJE. *Beiträge zur Kenntnifs des Sehens.* S. 78.
[3] PURKINJE. *Zur Physiologie der Sinne.* Bd. I. 126. II. 115.
[4] CZERMAK. *Wiener Sitzungsber.* XXVII. 78.

nachläfst, die erschlaffte Zonula sich wieder spannt, während die Linse no in radialer Richtung verkürzt ist und dadurch eine plötzliche Zerrung d äufsersten Randes der Netzhaut eintritt, dessen Ende mit der Zonula ve klebt ist.

Accommodire ich stark für die Nähe, während das Auge nach ein gleichmäfsig erleuchteten weifsen Fläche gekehrt ist, so entsteht im Fixatio punkte ein schattiger Fleck, am Rande braun abschattirt, von dem au wohl braune oder hell violette Streifen sich nach verschiedenen Seiten hi ziehen. Dann pflegt sich das Gesichtsfeld schnell zu verdunkeln, währe netzförmige Zeichnungen und Theile der Aderfigur, dunkel auf weif Grunde darin sichtbar werden. Bei Nachlafs der Accommodation für d Nähe schwindet alles. Purkinje beschreibt den braunen Fleck, sah ab
200 dessen Centrum weifs. Hierher gehört auch ein elliptischer gefleckter Lich schein, den Purkinje[1] bei dunklem Gesichtsfelde erblickte, wenn er dem Druck der Augenlider plötzlich nachliefs. Damit die Erscheinung Stande kam, war es nöthig, dafs kurz vorher äufseres Licht auf das A gewirkt hat. Ich selbst kann sie nicht sehen.

Durchschneidung und Zerrung der blofsgelegten Sehnerven bei Hun ruft keine Schmerzensäufserungen hervor, während die gleichen Verletzun ebenso starker Hautnervenstämme die allerheftigsten Schmerzen erreg Beim Menschen wird durch krebsige Entartungen des Auges zuweilen d Exstirpation des Augapfels nöthig. Wenn der Sehnerv in solchen Fä noch nicht selbst entartet ist, werden im Augenblicke der Durchschneid des Sehnerven grofse Lichtmassen gesehen[2], während die Kranken d etwas gröfseren Schmerz haben, als bei der Durchschneidung der übri benachbarten Theile. Dafs die Durchschneidung des Sehnerven ganz o solchen Schmerz, wie ihn die Tastnerven empfinden, vor sich gehen sol dürfen wir nicht erwarten, da wenigstens die übrigen gröfseren Nervenstä ihre *Nervi nervorum* haben, besondere empfindende Fasern, die ihnen eb gut zukommen, wie allen übrigen inneren Theilen des Körpers, und w ihre örtliche Empfindlichkeit vermitteln. Bei den vorderen Wurzeln d Rückenmarksnerven, durch welche nur motorische Fasern aus dem Rück marke austreten, kann man nachweisen, dafs solche *Nervi nervorum* ih aus den hinteren sensiblen Wurzeln zugeschickt werden. Wenn der *Ne ulnaris* hinter dem inneren Ellenbogenhöcker gestofsen wird, giebt sich d Reizung der durchlaufendzn Fasern des Nerven durch einen Schmerz k der scheinbar im Verbreitungsbezirke des Nerven am fünften und vie Finger stattfindet, während ein anderer Schmerz an der gestofsenen St selbst, welcher unangenehmer ist, als wenn nur die Haut getroffen wäre, Nerven des Nervenstammes zugeschrieben werden mufs. Ebenso fü wir, indem wir am äufseren Augenwinkel den Augapfel drücken, örtlich

[1] J. E. Purkinje, *Zur Physiologie der Sinne.* II. 78.
[2] Tourtual *in J. Müller's Handbuch der Physiologie.* Coblenz 1840. Bd. II. S. 259.

...erz des Druckes mittels der empfindenden Nerven dieser Stelle, und ...en einen Lichtschein, den wir in die Gegend des Nasenrückens verlegen. ...as Ähnliches kann bei der Reizung des Sehnervenstammes vorkommen.

Dafs der Sehnerv und die Netzhaut, welche fähig sind ein so feines ...es, wie das Licht ist, zu empfinden, gegen die gröbste mechanische ...handlung ziemlich unempfindlich bleiben, d. h. keinen in das Gebiet der ...empfindungen gehörigen Schmerz empfinden, erschien früher als ein ...derbares Paradoxon. Die Lösung ergiebt sich einfach daraus, dafs die ...ität aller Empfindungen des Sehnerven in den Kreis der Lichtempfin...ungen gehört. Es fehlt ihm also nicht die Empfindlichkeit, aber die Form ...r Empfindung ist eine andere.

...Sehr mannigfaltig ist ferner das Gebiet der Lichtempfindungen aus in...ren Ursachen. Es gehören dahin eine Menge von Lichterscheinungen ...Gesichtsfelde, welche in allerlei Krankheitszuständen des Auges oder des ...en Körpers auftreten, bald über das ganze Feld ergossen, bald räumlich ...renzt, und im letzteren Falle bald in Form unregelmäfsiger Flecken, 201 ...als Phantasmen, Menschen, Thiere u. s. w. nachahmend. Vielfach ...gen dabei mechanische Ursachen mitwirken, vermehrter Druck des Blutes ...den Gefäfsen oder der Augenflüssigkeiten; so sieht man beim Nachlasse ...chmäfsigen Drucks auf den Augapfel häufig Stücke der Gefäfsfigur auf...ten, oder sieht nach heftigen Anstrengungen theils einzelne pulsirende ...llen, theils gröfsere Stücke der Gefäfsfigur[1]. In anderen Fällen mag es ...e Art chemischer Reizung durch veränderte Zusammensetzung des Blutes ..., z. B. im Falle narkotischer Vergiftungen. Endlich sind manche von ...en Erscheinungen auch wohl zu erklären durch Ausbreitung des Reizungs...standes innerhalb der Centraltheile von anderen Theilen des Nervensystems ...die Wurzeln des Sehnerven. Übertragung der Reizung von einem ur...sprünglich erregten empfindenden Nerven auf einen anderen solchen Nerven, ...von keinem äufseren Einflusse getroffen ist, nennen wir Mitempfindung. ...erregt der Anblick grofser heller Flächen, z. B. von der Sonne beleuch...r Schneefelder, bei vielen Personen gleichzeitig Kitzel in der Nase, oder ...Hören gewisser kratzender und quiekender Töne ein Kältegefühl, wel...ches ...den Rücken herabläuft. Dergleichen Mitempfindungen scheinen ...im Sehnervenapparate vorkommen zu können, wenn andere Empfindungs...nerven erregt sind, z. B. die des Darms durch Eingeweidewürmer bei Kin...dern, durch aufgehäufte Darmcontenta, Blutstockungen und andere Ab...normitäten bei Hypochondern. Eigentliche Phantasmen, d. h. Lichtbilder, ...die das Ansehen bekannter Objecte der Aufsenwelt an sich tragen, ...nen durch eine ähnliche Übertragung des Erregungszustandes von den ...der Bildung von Vorstellungen thätigen Theilen des Gehirns auf den ...Sehapparat entstehen zu können. Es sind dergleichen gesehen worden

[1] [illegible] I. 134. II. [illegible]

nachläfst, die erschlaffte Zonula sich wieder spannt, während die Linse noch in radialer Richtung verkürzt ist und dadurch eine plötzliche Zerrung des äufsersten Randes der Netzhaut eintritt, dessen Ende mit der Zonula verklebt ist.

Accommodire ich stark für die Nähe, während das Auge nach einer gleichmäfsig erleuchteten weifsen Fläche gekehrt ist, so entsteht im Fixationspunkte ein schattiger Fleck, am Rande braun abschattirt, von dem auch wohl braune oder hell violette Streifen sich nach verschiedenen Seiten hinziehen. Dann pflegt sich das Gesichtsfeld schnell zu verdunkeln, während netzförmige Zeichnungen und Theile der Aderfigur, dunkel auf weifsem Grunde darin sichtbar werden. Bei Nachlafs der Accommodation für die Nähe schwindet alles. PURKINJE beschreibt den braunen Fleck, sah aber
200 dessen Centrum weifs. Hierher gehört auch ein elliptischer gefleckter Lichtschein, den PURKINJE[1] bei dunklem Gesichtsfelde erblickte, wenn er mit dem Druck der Augenlider plötzlich nachliefs. Damit die Erscheinung zu Stande kam, war es nöthig, dafs kurz vorher äufseres Licht auf das Auge gewirkt hat. Ich selbst kann sie nicht sehen.

Durchschneidung und Zerrung der blofsgelegten Sehnerven bei Hunden ruft keine Schmerzensäufserungen hervor, während die gleichen Verletzungen ebenso starker Hautnervenstämme die allerheftigsten Schmerzen erregen. Beim Menschen wird durch krebsige Entartungen des Auges zuweilen die Exstirpation des Augapfels nöthig. Wenn der Sehnerv in solchen Fällen noch nicht selbst entartet ist, werden im Augenblicke der Durchschneidung des Sehnerven grofse Lichtmassen gesehen[2], während die Kranken dabei etwas gröfseren Schmerz haben, als bei der Durchschneidung der übrigen benachbarten Theile. Dafs die Durchschneidung des Sehnerven ganz ohne solchen Schmerz, wie ihn die Tastnerven empfinden, vor sich gehen sollte, dürfen wir nicht erwarten, da wenigstens die übrigen gröfseren Nervenstämme ihre *Nervi nervorum* haben, besondere empfindende Fasern, die ihnen ebenso gut zukommen, wie allen übrigen inneren Theilen des Körpers, und welche ihre örtliche Empfindlichkeit vermitteln. Bei den vorderen Wurzeln der Rückenmarksnerven, durch welche nur motorische Fasern aus dem Rückenmarke austreten, kann man nachweisen, dafs solche *Nervi nervorum* ihnen aus den hinteren sensiblen Wurzeln zugeschickt werden. Wenn der *Nervus ulnaris* hinter dem inneren Ellenbogenhöcker gestofsen wird, giebt sich die Reizung der durchlaufendzn Fasern des Nerven durch einen Schmerz kund, der scheinbar im Verbreitungsbezirke des Nerven am fünften und vierten Finger stattfindet, während ein anderer Schmerz an der gestofsenen Stelle selbst, welcher unangenehmer ist, als wenn nur die Haut getroffen wäre, den Nerven des Nervenstammes zugeschrieben werden mufs. Ebenso fühlen wir, indem wir am äufseren Augenwinkel den Augapfel drücken, örtlich den

---

[1] J. E. PURKINJE, *Zur Physiologie der Sinne.* II. 78.
[2] TOURTUAL in *J. Müller's Handbuch der Physiologie.* Coblenz 1840. Bd. II. S. 259.

Schmerz des Druckes mittels der empfindenden Nerven dieser Stelle, und sehen einen Lichtschein, den wir in die Gegend des Nasenrückens verlegen. Etwas Ähnliches kann bei der Reizung des Sehnervenstammes vorkommen.

Dafs der Sehnerv und die Netzhaut, welche fähig sind ein so feines Agens, wie das Licht ist, zu empfinden, gegen die gröbste mechanische Mifshandlung ziemlich unempfindlich bleiben, d. h. keinen in das Gebiet der Tastempfindungen gehörigen Schmerz empfinden, erschien früher als ein wunderbares Paradoxon. Die Lösung ergiebt sich einfach daraus, dafs die Qualität aller Empfindungen des Sehnerven in den Kreis der Lichtempfindungen gehört. Es fehlt ihm also nicht die Empfindlichkeit, aber die Form der Empfindung ist eine andere.

Sehr mannigfaltig ist ferner das Gebiet der Lichtempfindungen aus inneren Ursachen. Es gehören dahin eine Menge von Lichterscheinungen im Gesichtsfelde, welche in allerlei Krankheitszuständen des Auges oder des ganzen Körpers auftreten, bald über das ganze Feld ergossen, bald räumlich begrenzt, und im letzteren Falle bald in Form unregelmäfsiger Flecken, 301
bald als Phantasmen, Menschen, Thiere u. s. w. nachahmend. Vielfach mögen dabei mechanische Ursachen mitwirken, vermehrter Druck des Blutes in den Gefäfsen oder der Augenflüssigkeiten; so sieht man beim Nachlasse gleichmäfsigen Drucks auf den Augapfel häufig Stücke der Gefäfsfigur aufblitzen, oder sieht nach heftigen Anstrengungen theils einzelne pulsirende Stellen, theils gröfsere Stücke der Gefäfsfigur[1]. In anderen Fällen mag es eine Art chemischer Reizung durch veränderte Zusammensetzung des Blutes sein, z. B. im Falle narkotischer Vergiftungen. Endlich sind manche von diesen Erscheinungen auch wohl zu erklären durch Ausbreitung des Reizungszustandes innerhalb der Centraltheile von anderen Theilen des Nervensystems auf die Wurzeln des Sehnerven. Übertragung der Reizung von einem ursprünglich erregten empfindenden Nerven auf einen anderen solchen Nerven, der von keinem äufseren Einflusse getroffen ist, nennen wir Mitempfindung. So erregt der Anblick grofser heller Flächen, z. B. von der Sonne beleuchteter Schneefelder, bei vielen Personen gleichzeitig Kitzel in der Nase, oder das Hören gewisser kratzender und quiekender Töne ein Kältegefühl, welches längs des Rückens herabläuft. Dergleichen Mitempfindungen scheinen auch im Sehnervenapparate vorkommen zu können, wenn andere Empfindungsnerven erregt sind, z. B. die des Darms durch Eingeweidewürmer bei Kindern oder durch aufgehäufte Darmcontenta, Blutstockungen und andere Abnormitäten bei Hypochondern. Eigentliche Phantasmen, d. h. Lichtbilder, welche das Ansehen bekannter Objecte der Aufsenwelt an sich tragen, scheinen durch eine ähnliche Übertragung des Erregungszustandes von den bei der Bildung von Vorstellungen thätigen Theilen des Gehirns auf den Sehnervenapparat entstehen zu können. Es sind dergleichen gesehen worden

---

[1] J. E. Purkinje, *Zur Physiologie der Sinne.* I. 134. II. 115, 118. — *Subjective Erscheinungen nach Wirkung der Digitalis.* II. 120.

von vielen Beobachtern, welche sich, während sie es sahen, der subjectiven
Natur des Phantasma durchaus bewufst waren[1]. Einige, wie GOETHE und
J. MÜLLER, konnten sogar zu jeder Zeit, wenn sie lange in das dunkle Ge-
sichtsfeld der geschlossenen Augen hineinsahen, dergleichen Erscheinungen
n sehen. AUBERT[2] beschreibt ebenfalls Phantasmen, die durch Vorstellungen
erregt werden, ohne doch in ihrem Inhalt von diesen bedingt zu sein.

201 Übrigens ist das Gesichtsfeld auch des gesunden Menschen zu keiner
Zeit ganz frei von solchen Erscheinungen, die man das Lichtchaos, den
Lichtstaub des dunkeln Gesichtsfeldes genannt hat; da sie bei man-
chen Erscheinungen, z. B. den Nachbildern, eine wichtige Rolle spielen,
wollen wir sie das Eigenlicht der Netzhaut nennen. Wenn man die Augen
schliefst und das dunkle Gesichtsfeld aufmerksam betrachtet, wird man an-
fangs häufig noch Nachbilder der vorher gesehenen äufseren Objecte wahr-
nehmen (über deren Entstehung siehe unten § 24 und 25), später ein un-
regelmäfsiges schwach beleuchtetes Feld mit mannigfach sich wandelnden
Lichtflecken, die häufig Gefäfsverästelungen oder ausgestreuten Moosstielchen
und Blättern ähnlich sind, und bei manchen Beobachtern auch in Phantasmen
übergehen. Eine ziemlich häufige Form dieser Lichterscheinungen scheint
202 die zu sein, welche GOETHE[3] wandelnde Nebelstreifen nennt. PURKINJE be-
schreibt sie als „breite mehr oder weniger gekrümmte Bänder mit zwischen-
liegenden schwarzen Intervallen, die entweder als concentrische Kreise gegen
den Mittelpunkt des Sehfeldes sich bewegen, und dort sich verlieren, oder
als wandelnde Bögen an ihm sich brechen, oder als krumme Radien um ihn
im Kreise sich bewegen. Ihre Bewegung ist langsam, so dafs es gewöhnlich
acht Secunden braucht, bis ein solches Band den Weg vollendet und völlig
verschwunden ist“. Ich selbst sehe sie meist wie zwei Systeme kreisförmiger
Wellen, die langsam gegen ihre Mittelpunkte zu beiden Seiten des Gesichts-
punktes zusammenlaufen. Die Lage der Mittelpunkte scheint mir den Ein-
trittsstellen der beiden Sehnerven zu entsprechen; der Rhythmus fällt mit
dem der Respirationsbewegungen zusammen. PURKINJE hatte ein schwächeres
Auge und sah nur mit dem rechten Auge ein solches System von Nebel-
streifen. Übrigens wird auch der Grund des Gesichtsfeldes, auf dem sich
diese Erscheinungen entwerfen, nie ganz dunkel, man sieht im Gegentheile
abwechselnde Verfinsterungen und Aufhellungen des Grundes, die oft mit
den Athemzügen in gleichem Rythmus geschehen (J. MÜLLER[4], ich selbst).
So bringt auch jede Bewegung der Augen oder Augenlider, jede Veränderung
der Accommodation Veränderungen des Lichtstaubes hervor. Auffallend sind
diese Gestalten besonders, wenn man in einem unbekannten ganz dunkeln
Raume, z. B. in einem dunkeln Treppenflur, den Weg tappend sucht, weil

---

[1] Fälle dieser Art sind zusammengestellt in J. MÜLLER *Über phantastische Gesichtserscheinungen.* Coblenz 1826. S. 20.

[2] H. AUBERT, *Physiologie der Netzhaut.* S. 335.

[3] GOETHE, *Farbenlehre.* Abth. I. § 96.

[4] J. MÜLLER, *Phantastische Gesichtserscheinungen.* S. 16.

sie sich dann an die Stelle der wirklichen Objecte stellen. Dabei bemerkt Purkinje, dafs jede unvermuthete Berührung, jede unsichere Bewegung momentane Oscillationen des Auges hervorruft, die von zarten Lichtwölkchen und anderen Lichtgebilden begleitet sind, welche Veranlassung zu manchen Gespenstergeschichten gegeben haben mögen. Aubert[1] erwähnt plötzlich n
auftretende sehr helle Punkte des Sehfeldes, und helle, langsam bewegte Zickzacklinien.

Nach körperlicher Anstrengung und Erhitzung sah Purkinje[2] im dun- 202
keln Gesichtsfelde ein mattes Licht wallen und flackern, wie die auf einer horizontalen Fläche verlöschende Flamme von ausgegossenem Weingeiste. Bei schärferer Betrachtung sah er darin unzählige, äufserst kleine lichte Pünktchen, die sich lebhaft durch einander bewegen, und lichte Spuren ihrer Bewegung hinter sich lassen. Eine ähnliche Erscheinung trat ein, wenn er bei geschlossenem rechten Auge das schwache linke zum Sehen anstrengte.

Wichtig ist noch die Erfahrung, dafs auch bei Leuten, deren Auge durch Operation entfernt, oder deren Sehnerven und Augen desorganisirt und functionsunfähig geworden waren, subjective Lichterscheinungen vorgekommen sind[3]. Aus diesen Erfahrungen geht hervor, dafs nicht blos die Netzhaut, sondern auch der Stamm oder die Wurzeln des Sehnerven im Gehirn fähig sind in Folge von Reizungen Lichtempfindung zu erzeugen.

Endlich sind die elektrischen Ströme ein mächtiges Mittel, den Sehnervenapparat, wie die übrigen Nerven zu erregen. Während in der Regel die motorischen Nerven nur in den Augenblicken Zuckung bewirken, wo die Stärke des sie durchfliefsenden elektrischen Stromes einer schnellen Stei- 203
gerung oder Abnahme ausgesetzt ist, werden in den Sinnesnerven nicht nur durch Stromesschwankungen, sondern auch durch einen Strom von gleichmäfsig anhaltender Stärke Empfindungen hervorgerufen, deren Qualität im letzteren Falle von der Stromesrichtung abhängt.

Wenn der Sehnerv durch Stromesschwankungen gereizt wird, entstehen starke Lichtblitze, die das ganze Gesichtsfeld überziehen. Man kann dieselben sowohl durch Entladungen von Leydener Flaschen als von galvanischen Säulen erzielen, wenn man die Elektricität so durch den Körper leitet, dafs hinreichend starke Zweige der Strömung durch den Sehnerven möglichst parallel seinen Fasern gehen. Man legt also zweckmäfsig den einen Zuleiter an die Stirn oder auf die geschlossenen Augenlider, den anderen in den Nacken, oder wenn man bei hinreichend kräftigen Apparaten einen grofsen Widerstand nicht zu scheuen hat, nimmt man ihn in die Hand. Um den Schmerz in der Haut zu mildern, ist es vortheilhaft, die Zuleiter, welche die Form von Platten oder Cylindern haben können, mit nassen

[1] H. Aubert, *Physiologie der Netzhaut.* S. 331.
[2] J. H. Purkinje, *Beobachtungen und Versuche u. s. w.* I. 63, 134. II. 115.
[3] Beispiele bei J. Müller, *Phantastische Gesichtserscheinungen.* S. 30. — A. v. Humboldt, *Gereizte Muskel- und Nervenfaser.* Th. II. S. 444. — Lincke, *de fungo medullari.* Lips. 1834.

Pappscheiben zu bedecken und die zu berührende Hautstelle einige Zeit vorher schon anzufeuchten. Mit den Schlägen von Leydener Flaschen sind bisher wenig hierher gehörige Versuche angestellt worden, auch ist grofse Vorsicht wegen der Nähe des Gehirns nothwendig, da FRANKLIN und WILCKE[1] beobachtet haben, dafs durch den Kopf geleitete Schläge ein bewufstloses Zusammenstürzen zur Folge haben können. LE ROY[2] liefs den Entladungsschlag auf einen am Staar erblindeten jungen Mann wirken, indem er dessen Kopf und rechtes Bein mit einem Messingdrahte umwand und durch die Enden der Drähte eine Leydener Flasche entlud. Bei jeder Entladung glaubte der Patient eine Flamme sehr schnell von oben nach unten vorbeigehen zu sehen, und hörte einen Knall wie von grobem Geschütze. Wenn LE ROY den Schlag durch den Kopf des Blinden allein leitete, indem er über den Augen und am Hinterkopfe Metallplatten befestigte, die mit den Belegungen einer Flasche verbunden wurden, so sah der Kranke Phantasmen, einzelne Personen, in Reihe gestellte Volkshaufen u. s. w.

Reicher sind die Erfahrungen über die Wirkungen der galvanischen Ströme. Will man nur die Lichtblitze wahrnehmen, die durch Schliefsung oder Unterbrechung des Stromes entstehen, so genügen schon wenige Zinkkupferelemente, bei reizbaren Augen sogar schon ein einfaches Plattenpaar. Wenn z. B. ein Stück Zink an die befeuchteten Lider des einen, Silber an die des anderen Auges gelegt wird, und man die beiden Metalle in Berührung bringt, so erscheint im Momente der Berührung und dann wieder im Momente der Trennung ein Blitz. Belehrender ist der Versuch, wenn man das eine Metall an ein Auge legt, das andere in den Mund nimmt, weil dabei zugleich die Abhängigkeit der Stärke des Blitzes von der Stromrichtung erkannt werden kann. Der Blitz bei Schliefsung der Kette ist nach den Beobachtungen von PFAFF stärker, wenn man das positive Metall (Zink) an
*204* das Auge, das negative (Silber) in den Mund bringt, wobei also der Sehnerv von der positiven Elektricität in aufsteigender Richtung durchflossen wird. Ich bemerke hierbei, dafs mir selbst die Versuche mit der einfachen Kette, wahrscheinlich wegen zu geringer Reizbarkeit meines Auges, nie gelungen sind. Dagegen sind die Lichtblitze sehr glänzend, wenn man eine kleine galvanische Säule von etwa zwölf Elementen benutzt. Wählt man eine Batterie von constanter Stromesstärke, z. B. von DANIELL'schen Elementen, so findet man, dafs der Schliefsungsblitz bei aufsteigender Stromesrichtung, der Öffnungsblitz bei absteigender stärker ist. Ähnliche Unterschiede der Wirkung je nach der Richtung des Stroms sind auch für die Muskelnerven bekannt, sie sind dort aber auch von der Stärke des angewendeten Stroms abhängig.

Um die dauernde Wirkung eines gleichmäfsig anhaltenden Stroms wahrzunehmen, brauchen wohl die meisten Augen eine kleine Säule, obgleich RITTER auch diese mit der einfachen Kette wahrgenommen hat.

---

[1] B. FRANKLIN, *Briefe über Elektricität.* Leipzig 1785. S. 312.
[2] LE ROY, *Mém. de mathém. de l'Acad. de France.* 1755. p. 86—92.

Um die Blendung des Auges durch Lichtblitze und das unangenehme Muskelzucken bei Öffnung und Schliefsung des Stroms zu vermeiden, finde ich es vortheilhaft, am Rande des Tisches, neben welchen sich der Experimentirende hinsetzt, zwei mit Pappe, die mit Salzwasser getränkt ist, umwickelte Metallcylinder hinzulegen, die mit den beiden Polen einer DANIELL'schen Batterie von 12 bis 24 Elementen verbunden sind. Man stützt zuerst die Stirne fest auf einen der Cylinder und berührt dann mit der Hand den anderen, wobei man durch langsames Anlegen der Hand erreichen kann, dafs die Wirkungen der Stromesschwankung sehr gering sind, dann nach Belieben wieder öffnen oder schliefsen kann. Die Stromesrichtung läfst sich wechseln, indem man die Stirn bald auf den einen, bald auf den anderen Cylinder legt. Das Auge ist hierbei auch keinem Drucke ausgesetzt, worauf wohl zu achten ist.

Wenn ein schwacher aufsteigender Strom durch den Sehnerven geleitet wird, wird das dunkle Gesichtsfeld der geschlossenen Augen heller als vorher und nimmt eine weifslich violette Farbe an. In dem erhellten Felde erscheint in den ersten Augenblicken die Eintrittsstelle des Sehnerven als eine dunkle Kreisscheibe. Die Erhellung nimmt schnell an Intensität ab, und verschwindet ganz bei der Unterbrechung des Stroms, die man bei langsamer Lösung der Hand von dem zweiten Cylinder ohne Lichtblitz ausführen kann. Dafür tritt nun, im Gegensatz zu dem vorausgegangenen Blau, mit der Verdunkelung des Gesichtsfeldes auch eine röthlich gelbe Färbung des Eigenlichts der Netzhaut ein,

Bei der Schliefsung der entgegengesetzten, absteigenden Stromesrichtung tritt der auffallende Erfolg ein, dafs das nur mit dem Eigenlicht der Netzhaut gefüllte Gesichtsfeld im Allgemeinen dunkler wird als vorher, und sich etwas röthlich gelb färbt; nur die Eintrittsstelle des Sehnerven zeichnet sich als eine helle blaue Kreisscheibe auf dem dunkeln Grunde ab, von welcher Scheibe häufig auch nur die der Mitte des Gesichtsfeldes zugekehrte Hälfte erscheint. Bei Unterbrechung dieser Stromesrichtung wird das Gesichtsfeld wieder heller und zwar bläulichweifs beleuchtet und der Sehnerveneintritt erscheint dunkel.

AUBERT[1] sieht bei aufsteigendem Strome und nach Unterbrechung des absteigenden Stroms die Eintrittsstellen der Sehnerven als gelbe, helle Ringe, in der Mitte aber dunkel; bei absteigendem Strome und nach Unterbrechung des aufsteigenden bezeichnet er die Farbe des dunkleren Feldes als grünlich; die Sehnerven erscheinen als gelbe Scheiben.

Bewegungen des Auges bringen nach demselben Beobachter an der Peripherie des Sehfeldes grofse blitzartige Helligkeit (wohl wegen der Stromesschwankungen) hervor.

Bei stärkeren Strömen von 100 bis 200 Zink-Kupferplatten hat RITTER 205
eine Umkehr der Färbung gesehen, während die Vermehrung oder Verminderung der Helligkeit dieselbe blieb, wie bei schwachen Strömen. Starke aufsteigende Ströme erregten ihm also die Empfindung von lichtstarkem

[1] H. AUBERT, *Physiol. der Netzhaut.* S. 345.

Grün, noch stärkere von lichtstarkem Roth, starke absteigende von lichtschwachem Blau. Nach der Unterbrechung des Stroms sah er im ersten Falle zuerst Blau, was schnell in das zurückbleibende Roth der schwachen Ströme umschlug. Nach der Unterbrechung des starken absteigenden Stroms sah er dagegen im ersten Augenblicke Roth, was schnell in das gewöhnliche
206 Blau umschlug. Ich selbst fand, dafs bei stärkeren Strömen[1] ein wildes Durcheinanderwogen von Farben entstand, in welchem ich keine Regel zu entdecken vermochte.

Ritter giebt auch noch an, dafs das aufsteigend durchströmte Auge die äufseren Gegenstände nicht blos undeutlicher, sondern auch verkleinert sehe. Das läfst vermuthen, dafs er die Augen für die Nähe accommodirt habe. Man kann sich unter Einflufs des heftigen Hautschmerzes, den die einströmende Elektricität erregt, kaum erwehren, die benachbarten Muskeln zu spannen, die Stirn zu runzeln, die Augenlider zusammenzukneifen. Die meisten Personen sind geneigt, bei jeder Anstrengung des Auges oder seiner Nachbartheile für die Nähe zu accommodiren, und das hat dann auch einen gewissen Einflufs auf die Vorstellung von der Gröfse der gesehenen Dinge. E. Du Bois-Reymond[2] macht darauf aufmerksam, dafs Zusammenziehung der Pupille bei elektrischer Durchströmung des Auges bemerkt sei, wobei wohl auch eine Veränderung des Accommodationsapparates eintreten könne. Bei absteigendem Strome giebt Ritter umgekehrt an, die Gegenstände deutlicher und gröfser gesehen zu haben.

n Die Undeutlichkeit schwach sichtbarer äufserer Objecte bei aufsteigenden Strömen scheint sich zunächst aus dem sich darüber deckenden subjectiven Lichtscheine zu erklären.

Die elektrische Reizung läfst sich auch auf einzelne Theile der Netzhaut beschränken, wenn sie auch nicht örtlich scharf begrenzt werden kann. Diese Erscheinungen sind in ihren wesentlichen Zügen schon von Purkinje beschrieben worden. Ich selbst habe es nützlich gefunden, den einen Zuleiter aus einem dünnen Cylinder von Badeschwamm zu bilden, der um ein Kupferstäbchen mit isolirendem Handgriff festgebunden, und reichlich mit Salzwasser getränkt ist. Die andere Elektrode legt man in den Nacken oder fafst sie mit der linken Hand, und berührt mit dem Schwamm die Haut neben dem äufseren oder inneren Augenwinkel, während man unter den geschlossenen Augenlidern das Auge hin und herbewegen kann.

Ist der Schwamm die positive Elektrode, so dringt der elektrische Strom auf der ihm zugewendeten Seite des Auges durch die Netzhaut von aufsen nach innen, auf der abgewendeten von innen nach aufsen; umgekehrt wenn der Schwamm negative Elektricität zuleitet. Dabei zeigt sich, dafs die von

---

[1] Der Strom von 24 Daniell'schen Elementen wurde durch breite, mit nasser Pappe belegte Metallplatten in Stirn und Nacken eingeleitet. Da der Widerstand in diesem Kreise sehr viel geringer war als bei Ritter's Anordnung, welcher eine Säule von grofsem Widerstande, und auch noch seinen Arm in dem Kreise hatte, so läfst sich das Verhältnifs der Stromstärke in meinen und Ritter's Versuchen nicht wohl bestimmen.

[2] E. Du Bois-Reymond, *Untersuchungen über thierische Elektricität.* Berlin 1848. Bd. I. S. 353.

aufsen nach innen durchflossene Hälfte der Netzhaut Dunkel empfindet, die von innen nach aufsen durchflossene dagegen Helligkeit. Zu beachten ist, dafs diese Empfindungen vom Beobachter immer in die gegenüberliegende Hälfte des Gesichtsfeldes verlegt werden, als wäre diese elektrische Helligkeit von aufsen kommendes Licht.

Unter dieselbe Regel fallen auch die Erscheinungen, welche man beobachtet, wenn man die Elektrode vorn auf die von den Lidern bedeckte Hornhaut setzt. Dann giebt eine positive Elektrode Strom von innen nach aufsen durch die ganze Netzhaut, und diese sieht hell.

Die Eintrittsstelle des Sehnerven zeigt bei mir immer den entgegengesetzten Zustand des Feldes, in dem sie liegt. Ihre starke Sehnenscheide könnte als schlecht leitende Masse in Betracht kommen, und bewirken, dafs die dicht davor liegenden Nervenelemente, die das Mark des eintretenden Nerven unmittelbar umgeben, vor der Durchströmung verhältnifsmäfsig geschützt sind. Deren Zustand aber pflegen wir (s. unten § 28) auf die ganze Ausdehnung des Sehnervenquerschnitts zu übertragen.

Wenn man nun, während das Auge von der Seite her durchströmt wird, den Blick unter den geschlossenen Lidern gegen die Grenze des hellen und dunkeln Feldes richtet, so erscheinen rechts und links neben dem Fixationspunkte zwei querovale Felder, von denen das in die helle Hälfte des Sehfeldes hineinragende dunkel, das in die dunkle hineinragende hell erscheint. Ihrer Gröfse nach erscheinen sie der Ausdehnung des gelben Flecks zu entsprechen. An dieser Stelle verlaufen die Faserzüge der Netzhaut von den Zapfen aus radial divergirend gegen die dazu gehörigen Ganglienzellen, und es werden die elektrischen Ströme bei der angegebenen Richtung des Blicks im gelben Fleck parallel der Fläche der Netzhaut fliefsen müssen.

Tritt nun positive Elektricität auf der Schläfenseite in das Auge ein, so ist der peripherische Theil der Netzhaut von aufsen nach innen, d. h. von den Zapfen zu den Ganglienzellen durchströmt, und sieht dunkel. Die nach der Schläfenseite gerichteten Faserzüge des gelben Flecks aber werden von den Ganglienzellen zu den Zapfen hin durchströmt, und sehen hell. In diesem Sinne kann man die beobachteten Erscheinungen zusammenbegreifen in die Regel: Elektrische constante Durchströmung der Netzhaut in der Richtung von den Zapfen zu den zugehörigen Ganglienzellen giebt die Empfindung von Dunkel; die entgegengesetzte Durchströmung giebt die Empfindung von Hell.

Es zeigen nun auch die Muskelnerven des thierischen Körpers aufser den schon erwähnten Erscheinungen der Reizung durch Stromesschwankungen einen Einflufs der constanten Ströme auf die Reizempfänglichkeit. Durch schwache Ströme, wie diejenigen immer sind, die bei den beschriebenen Versuchen die Netzhaut treffen, wird nach den von PFLÜGER[1] aufgestellten Gesetzen die Reizbarkeit des Nerven an der Strecke gesteigert, wo die

[1] W. PFLÜGER, *Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus.* Berlin 1859.

positive Elektricität hinfliefst, an der Strecke vermindert, wo jene Elektricität herkommt. Dies angewendet auf die Fasern der mittleren Schichten der Netzhaut würde ergeben, dafs die Stelle, deren vermehrte oder verminderte Erregbarkeit sich in den Lichterscheinungen bei elektrischer Durchströmung geltend macht, in den hintersten Schichten der Netzhaut zu suchen ist, was mit den Erfahrungen über die Erregung durch Licht, wie der folgende Paragraph zeigen wird, zusammenstimmt.

Elektrotonischer Zustand des Sehnerven oder der Sehnervenausbreitung macht sich hierbei also nicht geltend. Übrigens fragt es sich, ob sich derselbe durch die Schicht der Ganglienzellen hindurch würde fortpflanzen können. Wir kennen bisher nur seine Ausbreitung in Nervenfasern.

*207* Die Lehre von den Gesichtsempfindungen fiel in älterer Zeit noch ganz der Philosophie anheim, so lange positive Kenntnisse darüber fehlten. Zunächst mufste eingesehen werden, dafs die Empfindungen nur Wirkungen der Aufsendinge auf unseren Körper seien, und dafs die Wahrnehmung erst durch psychische Processe aus der Empfindung gebildet würde. Mit dieser Einsicht ringt die griechische Philosophie[1]. Sie beginnt mit naiven Voraussetzungen über die Möglichkeiten, wie Bilder, die den Gegenständen entsprächen, in die Seele kommen sollten. DEMOKRIT und EPIKUR lassen solche Bilder sich von den Gegenständen loslösen und in das Auge fliefsen. EMPEDOKLES läfst Strahlen sowohl vom Lichte wie vom Auge nach den Gegenständen fliefsen, und mit letzteren die Gegenstände gleichsam betasten. PLATO scheint zu schwanken. Im Timaeus schliefst er sich dieser Vorstellungsweise des EMPEDOKLES an; er erklärt die vom Auge ausgehenden Strahlen für ähnlich dem Lichte, aber nicht brennend, und läfst das Sehen nur zu Stande kommen, wo das innere Licht herausgehend an den Gegenständen das verwandte äufsere Licht trifft. Im Theaetet dagegen nähert er sich durch Untersuchungen über die geistige Thätigkeit bei den Wahrnehmungen schon dem reiferen Standpunkte des ARISTOTELES.

Bei letzterem[2] findet sich eine feine psychologische Untersuchung über die Mitwirkung geistiger Thätigkeit in den Sinneswahrnehmungen, das Physikalische und Physiologische, die Empfindung ist deutlich unterschieden von dem Psychischen; die Wahrnehmung äufserer Objecte beruht nicht mehr auf einer Art feiner Fühlfäden des Auges wie die Gesichtsnerven des EMPEDOKLES, sondern auf Urtheil. Das Physikalische an seinen Vorstellungen ist freilich sehr unentwickelt, doch könnte man in den Grundzügen desselben Spuren der Undulationstheorie finden. Denn das Licht ist bei ihm nichts Körperliches, sondern eine Thätigkeit (ἐνέργεια) des zwischen den Körpern enthaltenen Durchsichtigen, welches im Zustande der Ruhe Dunkelheit ist. Doch erhebt er sich noch nicht zu der Vorstellung, dafs die Wirkung des Lichtes auf das Auge nicht nothwendig dem erregenden Lichte gleichartig zu sein braucht. Er sucht vielmehr diese Gleichartigkeit dadurch zu begründen, dafs auch das Auge Durchsichtiges enthalte, welches in dieselbe Art von Thätigkeit wie das äufsere Durchsichtige treten kann.

Im Mittelalter blieben die eigentlichen und entscheidenden Fortschritte, welche ARISTOTELES in der Theorie des Sehens gemacht hatte, unbeachtet, erst BACO VON VERULAM und seine Nachfolger nehmen diesen Faden wieder auf, discutiren scharf die Abhängigkeit der Vorstellungen von den Empfindungen, bis KANT in seiner „Kritik der
*n* reinen Vernunft“ den Abschlufs ihrer Theorie liefert. Vieles Richtige, scharf ausgesprochen, findet sich auch bei J. G. FICHTE in den „Thatsachen des Bewufstseins“, namentlich die

---

[1] W. WUNDT, *Zur Geschichte der Theorie des Sehens*, HENLE und PFEUFFERS *Zeitschrift für rationelle Medicin.* 1859.

[2] ARISTOTELES, *De sensibus, de anima lib.* II. c. 5—8 und *de coloribus.*

Zusammenfassung der Empfindungen in Qualitätenkreise, den fünf Sinnen entsprechend. Was in SCHOPENHAUER's einschlägigen Erörterungen richtig ist, wird meist auf diese Quelle zurückzuführen sein.

In derselben Zeit waren die Naturforscher meist nur mit dem seit KEPPLER sich 207
schnell entwickelnden physikalischen Theile der Theorie des Sehens beschäftigt. Durch HALLER wurde zunächst im Allgemeinen die Lehre von der Reizbarkeit der Nerven fest- 208
gestellt; dem entsprechend beschreibt dieser auch ganz richtig und klar das Verhältnifs des Lichtes zur Empfindung, dieser zur Wahrnehmung[1]. Aber es fehlte noch die genauere Kenntnifs der durch andere Reizmittel entstehenden Erregungen des Auges, oder wenigstens, was man davon kannte, war vereinzelt, und wurde deshalb nur als Curiosum betrachtet. Das Verdienst, die Aufmerksamkeit der deutschen Naturforscher auf die Wichtigkeit dieser Kenntnifs hingeleitet zu haben, gebührt GOETHE in seiner Farbenlehre, wenn ihm auch der Hauptzweck dieses Buches, eine Reform der physikalischen Lichtlehre, die sich der unmittelbaren sinnlichen Anschauung besser anschlösse, zu erzwingen, fehlschlug. Darauf folgen nun die reichen Beobachtungen über Erregungen der Empfindungsnerven von RITTER und den andern Galvanikern, namentlich aber die Beobachtungen von PURKINJE, so dafs im Jahre 1826 J. MÜLLER die Hauptsätze dieses Gebiets hinstellen konnte in seiner Lehre von den specifischen Sinnesenergien, wie er sie in seinem Werke über die vergleichende Physiologie des Gesichtssinns zuerst vortrug, und wie sie im Anfange dieses Paragraphen dargestellt ist. Dies Werk und das von PURKINJE stehen in ausgesprochener Beziehung zu GOETHE's Farbenlehre, wenn auch J. MÜLLER deren physikalische Sätze später aufgegeben hat. Das MÜLLER'sche Gesetz von den specifischen Energien war ein Fortschritt von der aufserordentlichsten Wichtigkeit für die ganze Lehre von den Sinneswahrnehmungen, ist seitdem das wissenschaftliche Fundament dieser Lehre geworden, und ist in gewissem Sinne die empirische Ausführung der theoretischen Darstellung KANT's von der Natur des menschlichen Erkenntnifsvermögens.

Die Druckbilder kannte schon ARISTOTELES. NEWTON[2] giebt die hypothetische Erklärung, dafs die mechanische Erschütterung der Netzhaut eine ähnliche Bewegung in ihr errege, wie die auf diese Haut stofsenden Lichtstrahlen. Diese Bewegung der Netzhaut betrachtet er als Ursache der Lichtempfindung. Die Meinung, dafs bei den Druckbildern sowohl, als auch bei anderen Gelegenheiten im Auge sich objectives Licht entwickele, hat übrigens bis in neuere Zeit ihre Anhänger gehabt, wovon der oben erwähnte gerichtsärztliche Fall ein Beispiel giebt, in welchem der begutachtende Medicinalrath SEILER die Möglichkeit eines solchen Ereignisses glaubte zulassen zu müssen. Es hat aber niemals ein zweiter Beobachter objectiv das so entwickelte Licht wahrnehmen können. Um diese Meinung wahrscheinlich zu machen stützte man sich theils auf Fälle von Menschen, die in der Dunkelheit, d. h. bei sehr wenig Licht, hatten sehen können, wie Kaiser TIBERIUS, CARDANUS, KASPAR HAUSER, theils auf das sogenannte Leuchten der Thieraugen, der albinotischen oder sonst krankhaft verbildeten Menschenaugen, welches nur auf Reflexion des Lichts beruht, theils auf stark entwickelte Nachbilder, die des Abends nach verlöschtem Licht bei älteren Männern zuweilen lange zurückzubleiben scheinen; sie sollten die Möglichkeit der Lichtentwickelung im Auge beweisen. Genauere Beschreibungen der Druckbilder sind in späterer Zeit von PURKINJE, SERRES D'UZÈS gegeben worden. Der Gebrauch, den THOMAS YOUNG in der Accommodationslehre davon machte, ist oben Seite 149 erwähnt.

Den Öffnungs- und Schliefsungsblitz bei elektrischer Durchströmung beobachtete schon VOLTA; RITTER nahm selbst mit der einfachen Kette die dauernden Lichtwirkungen wahr, später gab namentlich PURKINJE eine ausführliche Beschreibung.

---

[1] A. v. HALLER, *Elem. Physiol.* Tom V. lib. 16 u 17.
[2] J. NEWTON, *Optice*, am Schlufs Quaestio XVI.

209 ## § 18. Von der Reizung durch Licht.

Wir haben jetzt das objective Licht, die Ätherschwingungen, als Erregungsmittel des Sehnervenapparates zu betrachten. Die Ätherschwingungen gehören nicht zu den allgemeinen Reizmitteln der Nerven, die wie Elektrizität und mechanische Mifshandlung jede Stelle einer jeden Nervenfaser erregen könnten; und es läfst sich nachweisen, dafs die Nervenfasern des Sehnerven innerhalb des Stammes dieses Nerven und innerhalb der Netzhaut von ihnen ebenso wenig wie die motorischen und sensiblen Nervenfäden der übrigen Nerven erregt werden. Es sind vielmehr gewisse Hülfsapparate nothwendig, die an den Enden der Opticusfasern in der Netzhaut liegen, in denen das objective Licht den Anstofs zu einer Nervenerregung zu geben im Stande ist.

Wir wollen hier zunächst nachweisen, dafs die Nervenfasern im Stamme des Sehnerven durch objectives Licht nicht erregt werden. Die Masse dieser Fasern liegt an der Stelle, wo der Sehnerv durch die Sclerotica in das Auge eintritt, frei gegen die durchsichtigen Mittel des Auges gekehrt, sie ist nicht von schwarzem Pigment bedeckt, und zugleich durchscheinend genug, dafs das Licht, was auf sie fällt, merklich in die Masse des Nerven eindringen kann. Man erkennt dies bei den Untersuchungen mit dem Augenspiegel daran, dafs man häufig noch Windungen der Centralgefäfse innerhalb des Sehnerven erkennen kann, die von der Nervenmasse ganz überdeckt
210 sind. Wenn dergleichen Gefäfswindungen im Innern der Nervensubstanz erkannt werden sollen, mufs Licht bis zu ihnen hindringen und von ihnen aus wieder bis zum Auge des Beobachters gelangen können. Es ist also kein Hindernifs für das in das Auge fallende Licht vorhanden, bis zu einer gewissen Tiefe in die Sehnervensubstanz einzudringen. *Aber dieses Licht, was auf die Eintrittsstelle des Sehnerven fällt, wird nicht empfunden.*

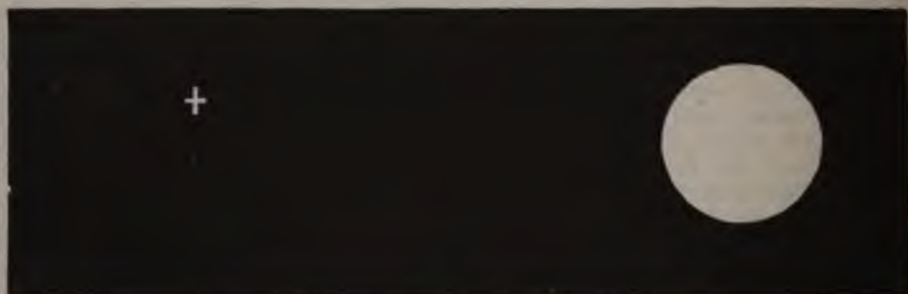


*Fig. 117.*

Man schliefse das linke Auge und fixire mit dem rechten das weifse Kreuzchen in *Fig. 117*, alsdann bringe man das Buch bei der gewöhnlichen horizontalen Richtung der Zeilen in eine Entfernung von etwa einem Fufs

›m Auge, so wird man finden, dafs es hier eine gewisse Stellung giebt, o der weifse Kreis gänzlich verschwindet und der schwarze Grund ohne ücke erscheint. Damit der Versuch gelinge, achte man aber sorgfältig da- ıuf, dafs man den Blick fest auf das Kreuzchen hefte und nicht seitwärts icke. Nähert man das Buch mehr oder entfernt es weiter, so kommt der eifse Kreis wieder zum Vorschein, und wird im indirecten Sehen deutlich ahrgenommen; ebenso wenn man das Buch schief hält, so dafs der weifse reis etwas höher oder tiefer zu stehen kommt. Wie der weifse Kreis, ver- hwinden alle anderen Gegenstände, weifse, schwarze, farbige, welche nicht öfser sind als der Kreis, wenn man sie auf denselben legt, und wie vorher rfährt. Man erkennt daraus, dafs es im Gesichtsfelde eines jeden einzel- n Auges eine Stelle giebt, in welcher nichts erkannt wird, und dafs es so in der Fläche der Netzhaut eine entsprechende Stelle giebt, welche die f sie fallenden Bilder nicht wahrnimmt. Man nennt diese Stelle den inden Fleck. Da die blinde Stelle im Gesichtsfelde des rechten Auges ıch rechts vom Fixationspunkte, in dem des linken Auges links davon liegt, › mufs der blinde Fleck der Netzhaut vom gelben Fleck aus nach der asenseite herüber liegen, in welcher Gegend sich die Eintrittsstelle des hnerven befindet.

Dafs der blinde Fleck wirklich mit der Eintrittsstelle des Sehnerven entisch sei, hatte man schon früher durch Messung seiner scheinbaren röfse und seines scheinbaren Abstandes vom Fixationspunkte des Auges chgewiesen. Einen noch directeren Beweis hat Donders[1] mittels seines ıgenspiegels gegeben. Er warf mit diesem Instrumente das Licht einer einen entfernt stehenden Flamme in das Auge des Beobachteten, und liefs eses so wenden, dafs das Flammenbildchen auf die Eintrittsstelle des Seh- 211
rven fiel. Auf dieser Stelle ist das Flammenbildchen nicht scharf gezeich- t, und es erscheint gleichzeitig die ganze Eintrittsfläche des Sehnerven, ob- eich mindestens 20 mal gröfser als das Flammenbildchen, ziemlich hell, ıs sich aus der durchscheinenden Beschaffenheit der Nervenmasse erklärt. ıf der Netzhaut selbst neben dem Eintritt des Sehnerven bemerkte er um eine Spur von Licht, was entweder in den durchsichtigen Mitteln des ıges zerstreut sein konnte, oder von der hell erleuchteten Fläche des Seh- rven seitlich reflectirt war. So lange das Lichtbildchen ganz auf den ntritt des Sehnerven fiel, hatte der Beobachtete keine Lichtempfindung. nige meinten einen sehr schwachen Schimmer wahrzunehmen, der wohl ırch die erwähnte schwache Erleuchtung der Netzhaut veranlafst sein ›chte. Durch kleine Bewegungen des Spiegels konnte er das Lichtbildchen n einer Seite nach der anderen über die Eintrittsstelle des Sehnerven ındern lassen, und niemals trat Lichtwahrnehmung ein, ehe nicht ein Theil r Flamme deutlich die Grenze überschritt, und so ein Stelle erreichte, wo

---

[1] F. C. Donders, *Onderzoekingen gedaan in het Physiol. Labor. d. Utrechtsch. Hoogeschool.* VI. 134.

die verschiedenen Schichten der Netzhaut schon vorhanden sind. Hieraus folgt, dafs der blinde Fleck der ganzen Eintrittsstelle des Sehnerven, und namentlich nicht etwa blos den eintretenden Gefäfsen entspricht.

Denselben Versuch hat später COCCIUS[1] an dem eigenen Auge des Beobachters auszuführen gelehrt, wodurch er noch belehrender wird. Man braucht dazu einen durchbohrten Spiegel, plan oder convex, wie er in den Augenspiegeln üblich ist, und hält diesen nahe vor das eigene Auge, während durch die Öffnung des Spiegels das Licht einer Lampe in das Auge fällt. Richtet man zunächst das Auge gerade nach dem Rand der Öffnung hin, so gelingt es leicht, das umgekehrte rothe Flammenbildchen auf der Netzhaut des eigenen Auges zu sehen, und indem man dann das Auge mehr und mehr einwärts dreht, während man das Flammenbildchen festzuhalten sucht, gelingt es endlich das Flammenbild auf die Eintrittsstelle des Sehnerven zu bringen und die beschriebenen Beobachtungen anzustellen. Für diesen Zweck ist es übrigens rathsam, die Flamme klein zu machen, oder weit zu entfernen, weil sonst die grofse Menge Licht, die in das Auge dringt, hinderlich ist. Man sieht dabei auch die Gefäfsstämme, hat aber natürlich immer nur ein sehr kleines Gesichtsfeld. Nimmt man eine gröfsere Flammenfläche, so wird das Auge zu sehr geblendet, als dafs man viel sehen könnte. Ist die Lichtmenge, welche auf die Eintrittsstelle des Sehnerven fällt, bedeutend, so nimmt das Auge allerdings einen schwachen Lichtschein wahr, aber, wie wir aus diesen Versuchen schliefsen müssen, nur deshalb, weil ein Theil des Lichtes sich auf die anstofsenden Theile der Netzhaut ausbreitet. Zuweilen entsteht auch bei solchen Versuchen ein rother Lichtschimmer im Auge, wohl wenn ein Gefäfsstamm auf der Sehnervenfläche stark erleuchtet wird und Licht reflectirt. Dies beobachteten A. FICK und P. DU BOIS-REYMOND, wenn sie das Sonnenbildchen einer Convexlinse als Object benutzten.

Die Form und scheinbare Gröfse des blinden Flecks im eigenen Gesichtsfelde kann man leicht in folgender Weise bestimmen. Man gebe dem Auge 8 bis 12
212 Zoll über einer weifsen Papierfläche einen festen Standpunkt, und zeichne zuerst auf dem Papier ein Kreuzzeichen als Fixationspunkt für das Auge. Dann führe man die in Tinte getauchte Spitze einer weifsen oder mindestens hell gefärbten Feder auf dem Papiere in die Projection des blinden Flecks hinein, so dafs die schwarze Spitze verschwindet, und schiebe sie dann von dessen Mittelpunkte aus nach einander in den verschiedenen Richtungen gegen die Peripherie des Flecks vor, und zeichne die Grenze auf, wo sie anfängt, sichtbar zu werden. In dieser Weise habe ich in *Fig. 118* den blinden Fleck meines rechten Auges, bezogen auf den Fixations-

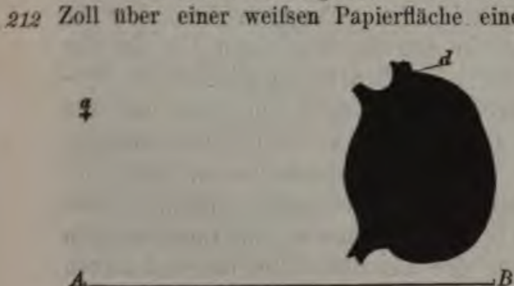


*Fig. 118.*

[1] A. COCCIUS, *Über Glaukom, Entzündung und die Autopsie mit d. Augenspiegel.* Leipzig 1859. S. 40 u. 52.

punkt *a*, dargestellt. *AB* ist der dritte Theil der zugehörigen Entfernung des Auges von der Papierfläche. Man sieht, dafs die Gestalt des Fleckes eine unregelmäfsige Ellipse ist, an der ich selbst, wie HUECK, die Anfänge von den stärkeren Gefäfsstämmen erkennen kann, welche austreten. Wenn man einen kleinen schwarzen Fleck auf das Papier macht, und nach einander verschiedene Gesichtspunkte fixirt, so findet man noch, dafs die Fortsetzungen der Gefäfse weit in das Feld der Netzhaut hinein blinde Stellen sind. Am leichtesten gelingt dies, wenn man nach COCCIUS sich die Richtung der Gefäfsstämme im eigenen Auge schon aufgesucht hat.

Bezeichnen wir die Entfernung des Auges vom Papier mit $f$, die Entfernung des zweiten Knotenpunkts von der Netzhaut, welche im Mittel 15 mm beträgt, mit $F$, den Durchmesser des blinden Flecks in unserer Zeichnung, oder irgend eine andere lineare Gröfse in der Zeichnung mit $d$, die entsprechende Gröfse auf der Netzhaut mit $D$, so haben wir

$$\frac{f}{F} = \frac{d}{D},$$

woraus wir $D$ berechnen können. Will man sich bei einer solchen Messung von der Gröfse $F$, welche für das individuelle Auge nie ganz genau bestimmt werden kann, unabhängig machen, so mifst man besser den Gesichtswinkel, d. h. den Winkel zwischen den Richtungslinien (siehe S. 69), welche den verschiedenen Punkten der Zeichnung entsprechen. Wenn wir voraussetzen dürfen, die auf den Punkt $\alpha$ der *Fig. 118* gerichtete Gesichtslinie sei senkrecht zur Ebene der Zeichnung und die Entfernung $ad$ mit $\beta$ bezeichnen, den Gesichtswinkel, unter dem $ad$ erscheint, mit $\alpha$, so ist

$$\frac{\beta}{f} = \operatorname{tg} \alpha,$$

woraus $\alpha$ berechnet werden kann; ebenso ist der Gesichtswinkel zwischen $a$ und jedem anderen Punkte der Zeichnung zu finden. Folgendes sind die Resultate, welche verschiedene Beobachter in dieser Weise erhalten haben:

1) Scheinbarer Abstand des Gesichtspunktes von dem ihm nächsten Theile des Randes des blinden Flecks: LISTING[1] 12° 37',5; HELMHOLTZ 12° 25'; TH. YOUNG 12° 56'.
2) Scheinbarer Abstand des entferntesten Theils des Randes: LISTING 18° 33',4; HELMHOLTZ 18° 55'; TH. YOUNG 16°,1'.
3) Scheinbarer Durchmesser des blinden Flecks in horizontaler Richtung: HANNOVER und THOMSEN[2] bei 22 Augen 3° 39' bis 9° 47', Mittel aller Messungen 6° 10', LISTING 5° 55',9; GRIFFIN[3] im Maximo 7° 31; HELMHOLTZ 6° 56'; TH. YOUNG, der nicht ganz zweckmäfsig zwei Lichter gebraucht hatte, um die Grenze des Flecks zu finden, 3° 5'. *213*
4) Wahrer Durchmesser des blinden Flecks, mit LISTINGs Werth für $F = 15$ mm berechnet, in LISTINGs Auge $1^{mm},55$; HELMHOLTZ 1,81. HANNOVER und THOMSON im Mittel $1^{mm},116$. Eine Messung von E. H. WEBER des Durchmessers der Eintrittsstelle des Sehnerven in den Augen zweier Leichen ergab

[1] J. LISTING, *Berichte der Königl. sächs. Ges. der Wiss.* 1852. S. 149. Ebenda die Beobachtungen von E. H. WEBER.
[2] A. HANNOVER, *Bidrag til Oiets Anatomie.* Kjöbenhavn. 1850. Cap. VI. S. 61.
[3] GRIFFIN, *Contributions to the physiology of vision.* London, Medical Gazette. 1838 Mai. p. 230.

$2^{mm}$,10 und $1^{mm}$,72 (0,93 und 0,76 Par. Lin.). Der Abstand seiner Mitte von der Mitte des gelben Flecks war in dem einen Auge $3^{mm}$,8 (1,69 Par. Lin.); derselbe, in LISTINGs Auge berechnet, $4^{mm}$,05. Der gröfste und kleinste Durchmesser des Gefäfsstrangs in der Mitte des Nerven waren 0,313 und 0,139 Lin., der gröfste in dem anderen Auge 0,28 Lin.

Aus diesen Messungen konnte schon vor den Versuchen von DONDERS geschlossen werden, dafs die ganze Eintrittsstelle des Sehnerven unempfindlich gegen das Licht sei.

Um die scheinbare Gröfse des blinden Flecks im Gesichtsfelde noch anders zu bezeichnen, wollen wir anführen, dafs auf seinem Durchmesser neben einander 11 Vollmonde Platz haben würden, und dafs in ihm ein 6 bis 7 Fufs entferntes menschliches Gesicht verschwinden kann.

Dafs die Sehnervenfasern im Stamme des Sehnerven nicht durch Licht in Reizung versetzt werden können, geht aus den beschriebenen Erscheinungen des blinden Flecks hervor. Dafs auch ihre Fortsetzungen, welche von der Eintrittsstelle des Sehnerven über die vordere Fläche der Netzhaut hin ausstrahlen, gegen Licht unempfindlich sind, kann aus dem Umstande geschlossen werden, dafs wir begrenzte helle Stellen des Gesichtsfeldes auch wirklich begrenzt sehen. Wenn Licht auf irgend eine Stelle $A$ der Netzhaut fällt, so trifft es hier nicht blofs diejenigen Nervenfasern, welche in $A$ endigen, sondern auch solche, welche über $A$ hinausgehen, und an den mehr peripherisch gelegenen Stellen der Netzhaut endigen. Da nun der Ort, an welchem eine Nervenfaser gereizt worden ist, in der Empfindung nicht unterschieden wird, so würde dadurch für die Empfindung derselbe Erfolg eintreten, als wäre Licht auf jene peripherischen Stellen der Netzhaut gefallen. Wir würden unter diesen Umständen von jedem erleuchteten Punkte einen Lichtschweif nach den Grenzen des Gesichtsfeldes sich hinziehen sehen, was nicht der Fall ist. Es können also auch die vor der Netzhaut ausgebreiteten Fasern des Sehnerven nicht durch objectives Licht reizbar sein.

Dafs dagegen die hinteren Schichten der Netzhaut gegen Licht empfindlich sind, geht daraus hervor, dafs man den Schatten der Netzhautgefäfse wahrnehmen kann (§ 15, S. 192). Die Netzhautgefäfse liegen in der Schicht der Sehnervenfasern, die feineren zum Theil auch noch in der unmittelbar dahinter liegenden Schicht der Nervenzellen (S. 31, *Fig. 16*, *2. 3*) und in der fein granulirten Schicht (*Fig. 16*, *4*). Aus den Bewegungen des Schattens dieser Gefäfse bei Bewegungen der Lichtquelle haben wir geschlossen, dafs die den Schatten empfindende Schicht, die Schicht, in welcher das den
214 Schatten begrenzende Licht Nervenerregung hervorruft, in geringer Entfernung hinter den Gefäfsen liegen müsse. Die Messungen von H. MÜLLER (S. 200) ergeben, dafs die Entfernung der Gefäfse von der Fläche, die ihren Schatten empfindet, zwischen 0,17 und 0,36 mm betragen mufs. Die Entfernung der Gefäfse von der hintersten Schicht der Netzhaut, der der Stäbchen und Zapfen (*Fig. 16*, *8, 9*), beträgt nach demselben Beobachter 0,2 bis 0,3 mm, so dafs die empfindende Schicht jedenfalls eine der hintersten Schichten der

Netzhaut sein mufs, d. h. die Schicht der Zapfen und Stäbchen, oder die äufsere Körnerschicht. Da an der Stelle des deutlichsten Sehens, in der centralen Grube des gelben Flecks nach allen neueren Beobachtungen nur *n*
Nervenzellen und Zapfen mit Zapfenkörnern vorkommen, so folgt sicher, dafs die Zapfen verbunden mit den Zapfenkörnern genügen, um bei Lichteinwirkung Empfindung zu erregen. Bei der ganz analogen anatomischen Bildung der Stäbchen ist es höchst wahrscheinlich, dafs auch diese die genannte Fähigkeit besitzen, wie schon H. Müller und Koelliker ausgesprochen haben. Indessen müssen sie bei der Localisation der Empfindungen eine ganz andere Rolle spielen, da trotz ihrer gröfseren Feinheit und Anzahl dort, wo sie überwiegend vorkommen, in den peripherischen Theilen der Netzhaut, das Unterscheidungsvermögen für nah benachbarte Eindrücke im Gegentheil unvollkommener ist als in der Netzhautgrube.

Da die Untersuchung über die Feinheit der Wahrnehmung von Ortsunterschieden beim Sehen wesentlich mit der Frage zusammenhängt, welche Elemente der Netzhaut lichtempfindlich sind, (das heifst hier immer: bei Lichteinwirkung Empfindung erregen) und wie sie mit den Nervenfasern zusammenhängen, so wenden wir uns zunächst dieser Frage zu.

Da diejenige Stelle der Netzhaut, welche der feinsten Ortsunterscheidung fähig ist, ein regelmäfsig gebildetes Mosaik von einander trennbarer Theile, der Zapfen, hat, von denen jeder einzelne mit einer Nervenfaser zusammenhängt, die zunächst zu den Nervenzellen der Netzhaut hinüberführt, so scheint die Annahme nicht unwahrscheinlich, dafs jeder einzelne Zapfen seine eigene abgesonderte Nervenleitung zum Gehirn hat, und dafs dem entsprechend die in ihm erregte Empfindung von qualitativ gleicher Empfindung in den benachbarten Zapfen unterschieden werden könne. Um diese Hypothese zu prüfen, wäre zu erörtern, wie sich in diesem Falle die Gröfse der Zapfen verhalten mufs, und welche Art von sichtbaren Objecten dabei die sichersten Schlüsse zulassen würden.

Das Licht, welches auf ein einziges empfindendes Element fällt, kann nur 215
eine einzige Lichtempfindung hervorbringen, in der nicht mehr unterschieden wird, ob einzelne Theile des Elements stark, andere schwach erleuchtet sind. Es können lichte Punkte wahrgenommen werden, deren Netzhautbild sehr viel kleiner ist, als ein empfindendes Netzhautelement, vorausgesetzt, dafs die Lichtmenge, die von ihnen in das Auge fällt, grofs genug ist, ein Netzhautelement merklich zu afficiren. So werden z. B. die Fixsterne, als Objecte von grofser Lichtstärke, trotz ihrer verschwindend kleinen scheinbaren Gröfse, vom Auge wahrgenommen. Ebenso können auch dunkle Objecte auf hellem Grunde wahrgenommen werden, obgleich ihre Bilder kleiner sind, als ein empfindendes Nervenelement, vorausgesetzt nur, dafs die Lichtmenge, welche auf das Element fällt, durch das dahin treffende dunkle Bild um einen wahrnehmbaren Theil verringert wird. Kann das Auge z. B. bei der angewendeten Beleuchtungsstärke Unterschiede der Lichtintensität von [illegible] erkennen, so würde ein dunkles Bildchen, dessen Flächeninhalt $^1/_{50}$ von

dem eines empfindenden Elements ist, noch wahrgenommen werden können. Dagegen ist es klar, dafs zwei helle Punkte nur dann als zwei erkannt werden können, wenn der Abstand ihrer Bilder gröfser ist, als die Breite eines Netzhautelements. Wäre er kleiner, so würden beide Bilder immer auf dasselbe oder auf zwei benachbarte Elemente fallen müssen. Im ersteren Falle würden beide nur eine einzige Empfindung erregen, im zweiten Falle zwar zwei Empfindungen, aber in benachbarten Nervenelementen, wobei nicht unterschieden werden könnte, ob zwei gesonderte Lichtpunkte, oder einer da ist, dessen Bild auf die Grenze beider Elemente fällt. Erst wenn der Abstand der beiden hellen Bilder, oder wenigstens ihrer Mitte von einander gröfser ist als die Breite eines empfindenden Elements, erst dann können die beiden Bilder auf zwei verschiedene Elemente fallen, die sich gegenseitig nicht berühren, und zwischen denen ein Element zurückbleibt, welches nicht oder wenigstens schwächer als die beiden ersten von Licht getroffen wird.

Nach den Angaben von Hooke[1] erscheinen zwei Sterne, deren scheinbare Entfernung weniger als 30 Secunden beträgt, stets wie ein Stern, und
216 von Hunderten kann kaum einer die beiden Sterne unterscheiden, wenn ihre scheinbare Entfernung weniger als 60 Secunden beträgt. Die übrigen Beobachter, welche nicht an Sternen, sondern an weifsen beleuchteten Strichen oder Vierecken ihre Beobachtungen angestellt haben, fanden eine etwas geringere Genauigkeit. Es wurden von dem besten, von E. H. Weber untersuchten Auge zwei weifse Striche unterschieden, deren Mittellinien 73 Secunden von einander entfernt waren. Bei stärkerer Beleuchtung komme ich selbst unter möglichst günstigen Umständen bis 64 Secunden. In Listing's schematischem Auge entspricht auf der Netzhaut

| ein Gesichtswinkel von | einem Abstande von |
|---|---|
| 73" | 0.00526 mm |
| 63" | 0.00464 „ |
| 60" | 0.00438 „ |

Nach Koelliker's Messungen beträgt die Dicke der Zapfen im gelben Flecke 0.0045 bis 0.0054 mm (siehe S. 38), was fast genau mit den vorigen Zahlen übereinstimmt, so dafs auch durch diese Messungen die Annahme, dafs die Zapfen die letzten empfindenden Elemente der Netzhaut bilden, bestätigt wird.
* Spätere Beobachter haben etwas kleinere Zahlen gefunden: M. Schultze 0.0020 bis 0.0025, H. Müller 0.0015 bis 0.0020, Welcker 0.0031 bis 0.0036 mm.

217 Gleichzeitig ergiebt sich, dafs die optische Beschaffenheit eines gut gebauten und richtig accommodirten Auges vollkommen genügt, um den Grad von Genauigkeit, welchen die Gröfse der nervösen Elemente möglich macht, wirklich zu erreichen. Wir haben freilich § 13, S. 163 gefunden, dafs

[1] [illegible] übers. v. Kaestner. S. [illegible]

bei einem Durchmesser der Pupille von 4 mm der durch Farbenzerstreuung erzeugte Zerstreuungskreis einen Durchmesser von 0,0426 mm hat, also fast 10 mal gröfser ist, als die Dicke der Zapfen, aber dort auch schon die Gründe angegeben, warum diese Zerstreuungskreise trotz ihrer Gröfse das Sehen nicht erheblich beeinträchtigen. Die Abweichungen wegen Asymmetrie des Auges (§ 14, S. 182) sind meist viel geringer, und beeinträchtigen das Sehen weniger, wenn nicht gleichzeitig horizontale und verticale Linien gesehen werden sollen.

Auf den Seitentheilen der Netzhaut ist die Unterscheidungsfähigkeit viel geringer als im gelben Flecke, und zwar ist die Abnahme in der Nähe des Netzhautcentrum geringer, als in gröfserer Entfernung davon. Nach den Messungen von AUBERT und FÖRSTER ist die Abnahme nach verschiedenen Richtungen hin vom Centrum aus verschieden schnell, und zwar geschieht sie nach oben und unten am schnellsten, nach der äufseren Seite der Netzhaut hin am langsamsten; dabei scheinen die individuellen Unterschiede ziemlich bedeutend zu sein. Ein auffallendes Resultat ihrer Messungen ist auch, dafs bei der Accommodation für die Ferne die Abnahme nach den Seiten der Netzhaut hin schneller zu geschehen scheint, als beim Nahesehen. Sie fanden, dafs eine ähnliche Abnahme der Genauigkeit der optischen Bilder wenigstens in Kaninchenaugen nach den Seiten der Netzhaut hin nicht stattfindet. Dadurch wird constatirt, dafs die Unvollkommenheit des Sehens auf den seitlichen Netzhauttheilen nur von der Beschaffenheit der Netzhaut, nicht von der der optischen Bilder abhängt.

Als Object für die Feststellung der kleinsten zu unterscheidenden Distanzen hat TOB. MAYER und nach ihm E. H. WEBER weifse parallele Linien benutzt, welche durch gleich breite schwarze getrennt waren, VOLKMANN benutzte 217
Spinnwebfäden auf hellem Grunde, ich selbst fand der Beleuchtung wegen passender ein Gitter von schwarzen Drähten zu benutzen, dessen Zwischenräume gleich dem Durchmesser der Drähte waren, und welches vor den hellen Himmel gestellt wurde. Aufserdem hat TOB. MAYER auch weifse Vierecke benutzt, theils durch ein schwarzes Gitter getrennt, theils schachbrettartig geordnet.

Man mufs bei der Anstellung der Versuche darauf achten, dafs das Auge vollständig accommodirt werden könne, und nöthigenfalls ein passendes Brillenglas vor das Auge nehmen. Die Beleuchtung mufs stark sein, ohne doch blendend zu werden. Bei diesen Versuchen bemerkte ich eine auffallende Formveränderung der geraden hellen und dunkeln Linien. Die Breite jedes hellen und jedes dunkeln Streifen des von mir gebrauchten Gitters betrug $\frac{13}{24} = 0{,}4167$ mm. In dem Abstande von 1,1 bis 1,2 m fing die Erscheinung an sichtbar zu werden. Das Gitter bekam etwa das Aussehen wie in *Fig. 119 A*; die weifsen Streifen erschienen zum Theil wellenförmig gekrümmt, zum Theil perlschnurförmig mit abwechselnd dickeren und dünneren Stellen. Es seien in *Fig. 119 B* die kleinen Sechsecke Querschnitte der Zapfen

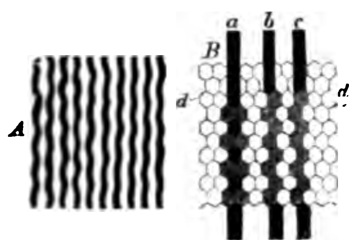


*Fig. 119.*

des gelben Flecks, *a*, *b* und *c* drei optische Bilder von den gesehenen Streifen, diese sind oberhalb *d d* in ihrer wirklichen Form dargestellt, unterhalb *d d* aber sind alle Sechsecke, deren gröfsere Hälfte schwarz war, ganz schwarz gemacht, deren gröfsere Hälfte weifs war, ganz weifs, weil in der Empfindung immer nur die mittlere Helligkeit jedes Elements wahrgenommen werden kann. Man sieht, dafs dadurch in der unteren Hälfte von *Fig. 119 B* ähnliche Muster entstehen, wie in *A*. Purkinje[1] hat Ähnliches gesehen, und auch Bergmann hat beobachtet, dafs zuweilen, ehe die Streifen des Gitters ganz verschwinden, dasselbe schachbrettartig erscheint, zuweilen Streifen in querer Richtung gegen die wirklich vorhandenen gesehen werden, was sich alles durch ähnliche Verhältnisse, wie die hier berührten, erklären läfst[2].

Wenn bei den Beobachtungen zwei leuchtende Objecte benutzt worden sind, deren Breite gegen ihren Abstand verschwindet, so können sie als zwei nur erkannt werden, wenn zwischen den Netzhautelementen, welche ihre Bilder empfangen, ein anderes zurückbleibt, welches dunkel bleibt. Der Durchmesser eines solchen Elements mufs also jedenfalls kleiner sein, als der Abstand der beiden hellen Bilder. Ist die Breite der Objecte aber gleich dem dunkeln Streifen zwischen ihnen, so ist es nicht gerade nöthig, dafs die Netzhautelemente schmaler seien, als das Bild des dunkeln Streifens. Ein Netzhautelement, welches von dem Bilde des dunkeln Streifens getroffen wird, und mit seinen Seitenrändern noch zum Theil in die hellen Streifen hineinragt, wird deshalb doch noch weniger Licht als seine Nachbarn empfinden können, vorausgesetzt, dafs die ganze Lichtmenge, von der es getroffen wird, kleiner ist, als die der Nachbarn. Wir können in solchen Fällen deshalb mit Gewifsheit nur soviel folgern, dafs die Netzhautelemente kleiner seien als die Entfernung der Mittellinien der hellen Streifen. Auch zeigt sich in der That in den unten angeführten Versuchen von Tob. Mayer, dafs bei parallelen Linien die Unterscheidbarkeit dieselbe bleibt, wenn sich die Breite des Schwarz oder Weifs ändert, aber die Summe der Breite eines schwarzen und eines weifsen Streifen
218 constant bleibt. Deshalb habe ich als Breite des Objects immer die Summe angegeben, welche der Entfernung der Mittellinien zweier benachbarter Objecte gleich ist, abweichend von Mayer, Weber und Volkmann, und danach auch den kleinsten Gesichtswinkel berechnet.

[1] J. E. Purkinje. *Beobachtungen und Versuche.* I. 122.
[2] Bergmann, *Henle* und *Pfeufer*, *Zeitschrift für ration. Medicin* (3) II. 88.

| Beobachter. | Object. | Gröfse des Objects. | Entfernung vom Auge. | Entfernung dividirt durch Gröfse des Objects. | Gesichtswinkel in Secunden. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1) HOOKE | Fixsterne | — | — | — | 60 |
| 2) TOB. MAYER | a) Parallele Linien mit gleichen Zwischenräumen | 0,72 Par. Lin. | 11 Par. Fufs | 2200 | 94 |
| | b) Eben solche mit breiteren und schmaleren Zwischenräumen | 0,6 „ „ | 9½ | 2275 | 90 |
| 3) Derselbe | Weifse Quadrate durch ein schwarzes Gitter getrennt | 0,88 „ „ | 15½ | 2422 | 80 |
| 4) Derselbe | Schachbrettmuster | 1,04 „ „ | 12 | 1661 | 124 |
| 5) VOLKMANN | Spinnwebfäden | 0,0052 Par. Zoll | 7 Par. Zoll | 1346 | 147,5 |
| 6) N. N. bei VOLKMANN | Dieselben | — | 13 | 2500 | 80,4 |
| 7) TH. WEBER bei E. H. WEBER | Parallele Linien mit gleich breiten Zwischenräumen | 0,05 Par. Lin. | 110½ Par. Lin. | 2210 | 90,6 |
| 8) N. N. 1 bei demselben | Dieselben | — | 138 | 2760 | 73 |
| 9) N. N. 2 bei demselben | Dieselben | — | 110½ | 2210 | 90,6 |
| 10) HELMHOLTZ | Stabgitter | 1,083 mm | 3500 mm | 3235 | 63,75 |
| 11) O. H. bei demselben | Dasselbe | — | 2400 | 2215 | 93 |
| 12) BERGMANN | Parallele Linien mit gleich breiten Zwischenräumen | 2 mm | 5500 bis 8000 | 2750<br>4000 | 75<br>51,6 |
| 13) HIRSCHMANN | Parallele Drähte | — | · | 4125 | 50 |

n Aus diesen Versuchen ist nur zu schliefsen, dafs es auf der Netzhaut parallele Reihen lichtempfindender Elemente giebt, für welche die Mittellinien der Reihen um weniger als 0,00363 mm (HIRSCHMANN), beziehlich 0,00463 mm (HELMHOLTZ) von einander abstehen. Dabei können aber die Mittelpunkte der Netzhautelemente selbst einen erheblich gröfseren Abstand haben, wenn sie sich nämlich in benachbarten Reihen nicht in normaler Richtung gegenüberstehen, Wären sie z. B. wie die Sechsecke der *Fig. 119 B* geordnet, so können wir zwischen zwei Verticalreihen solcher Sechsecke, die ihre Sechsecke horizontal neben einander in gleicher Höhe haben, noch andere unterscheiden, deren Sechsecke sich zwischen je zwei Horizontalreihen der ersteren einschieben. Letztere Reihen sind übrigens den ersteren vollkommen gleich gebildet. Der Abstand der Mittellinien je zweier solcher nächstgelegener Verticalreihen ist gleich dem halben Abstande gegenüberliegender Sechsecksseiten. Aufser der verticalen giebt es noch zwei andere Richtungen um 60° zu jener geneigt für Reihen von gleichem Abstande. Dagegen haben die horizontalen Reihen der Figur etwas weiter von einander entfernte Mittellinien. Wenn $s$ der Abstand der Verticalreihen ist, so ist $s\sqrt{3}$ der der horizontalen Reihen und der um 60° gegen letztere geneigten. In verschiedenen Theilen des Feldes können die Reihen verschiedene Richtungen haben, so dafs man für jede Linienrichtung immer Stellen findet, welche ihr parallel die engsten Reihen von Netzhautelementen zeigen. Wenn wir aus $s$ den Inhalt der Sechsecke berechnen, so ist dieser $2.5^2\sqrt{3}$, und die Anzahl von Netzhautelementen auf einem Quadratmillimeter der Netzhautgrube findet sich zu 13466 (HELMHOLTZ) bis 21907 (HIRSCHMANN.)

Zählungen der Anzahl der Zapfen der Netzhautgrube sind neuerdings in E. BRÜCKE's Laboratorium von Herrn F. SALZER[1] an Augen todtgeborener Kinder ausgeführt worden, und haben 13200 bis 13800 Zapfen für das Quadratmillimeter ergeben, was mit der nach meinen Beobachtungen berechneten Zahl gut übereinstimmt. Möglicherweise sind sie bei einzelnen Individuen, oder in einem kleinen Theile der Netzhautgrube, den besonders geübte Beobachter zu benutzen lernen, kleiner, wodurch sich die gröfseren Zahlen bei Herrn HIRSCHMANN und bei dem von BERGMANN beobachteten zehnjährigen Knaben erklären.

Mit der ersteren Zahl stimmen auch sehr gut die Beobachtungen von Herrn CLAUDE DU BOIS-REYMOND[2], welcher zu ermitteln suchte, wie viele gleichmäfsig vertheilte Lichtpunkte quincuncial geordnet auf einer bestimmten Netzhautfläche unterschieden werden könnten. Seine Zahlen schwanken bei verschiedenen Beobachtern zwischen 13500 und 16300 pro Quadratmillimeter Fläche der Netzhautgrube. Rücken die Punkte näher zusammen, so fliefsen sie zu einer gleichmäfsig hellen Fläche zusammen. Das Object war ein Stanniolblatt mit 400 eingestochenen Löchern, 2,5 mm von einander entfernt, 0,2 mm im Durchmesser, durch welche Himmelslicht schien. Wenn man das Object näherte, erschienen erst Linienreihen, ehe es sich in Punkte auflöste.

212 Die UNTERSUCHUNGEN von AUBERT und FÖRSTER über die Genauigkeit des Sehens auf den Seitentheilen der Netzhaut sind nach zwei Methoden ausgeführt worden. Bei der ersten Methode blickte der Beobachter durch eine geschwärzte [illegible], welche fest aufgestellt war, dadurch die Stellung seines Auges sicherte und

[1] [illegible] SALZER [illegible] Abth. III. Jänner [illegible]

[2] [illegible] DU BOIS-REYMOND [illegible] Berlin. 1882. [illegible]

sein Auge vor blendendem Seitenlicht schützte, nach einem mit Buchstaben und Zahlen, die in gleichen Zwischenräumen von einander standen, bedruckten Bogen (2 Fuſs breit, 5 Fuſs lang) hin. Dieser war auf zwei horizontale Walzen aufgerollt, so daſs der vom Beobachter gesehene Theil nach jedem Versuch schnell gewechselt werden konnte. Da die aufgedruckten Buchstaben und Zahlen ferner ganz willkührlich durch einander gestellt waren, konnte der Beobachter auch nie andere Zahlen errathen, als die er wirklich gesehen hatte. Vor dem Bogen stand eine Leydener Flasche, welche sich von Zeit zu Zeit entlud, und dadurch den Bogen auf einen Moment erhellte, während es in den Zwischenzeiten so dunkel war, daſs der Beobachter eben nur den Ort der Buchstaben, aber nicht ihre Form erkennen konnte. Während ein Gehülfe den Bogen mit den Buchstaben beliebig stellte, gab der Beobachter nach jeder Richtung an, welche Buchstaben er erkannt hatte. Es wurden vier solche Bogen mit Ziffern und Buchstaben von verschiedener Gröſse gebraucht. Der Abstand des Beobachters von den Objecten konnte geändert werden.

Nennen wir mit AUBERT den doppelten Winkel zwischen der Gesichtslinie und der Richtungslinie der äuſsersten gesehenen Buchstaben, d. h. also den Gesichtswinkel des mit erkennbaren Zahlen besetzten Raumes, den Raumwinkel, und den Winkel, unter welchem die gröſsten Dimensionen der gesehenen Buchstaben und Zahlen dem Beobachter erschienen, den Zahlenwinkel, so ergab sich, daſs bei gleicher wirklicher Gröſse der Zahlen das Verhältniſs des Zahlenwinkels zum Raumwinkel nahehin constant war; nur bei Raumwinkeln über 30 oder 40° waren die Zahlenwinkel etwas gröſser, als dies Verhältniſs erforderte. Dagegen fand sich, daſs bei constanter scheinbarer Gröſse der Zahlen kleine nahe Zahlen besser erkannt wurden als gröſsere ferne. Es fand sich nämlich die Verhältniſszahl des Raumwinkels dividirt durch den Zahlenwinkel, wie folgt:

220

| Wirkliche Gröſse der Zahlen in mm. | Grenze des Raumwinkels. | Verhältniſs des Zahlenwinkels dividirt durch den Raumwinkel. | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Minimum. | Maximum. | Mittel. |
| 26 | 25° | 7 | 7,9 | 7,18 |
| 26 | 40 | 6 | 7,3 | 6,69 |
| 13 | 27 | 11 | 12 | 11,14 |
| 7 | 27 | 9,7 | 14,5 | 12,79 |

In der zweiten Columne ist als Grenze des Raumwinkels derjenige Werth desselben angegeben, bis zu welchem die Messung ging, oder wenigstens nahehin constante Verhältniſszahlen lieferte. Die letzte Columne zeigt, daſs das Verhältniſs zwischen Zahlenwinkel und Raumwinkel steigt, wenn die wirkliche Gröſse der Zahlen sich verkleinert. Dieses letztere Factum ist sehr räthselhaft. Sollte der Mechanismus der Accommodation die peripherischen Theile der Netzhaut verändern? AUBERT macht die Annahme, daſs die Stäbchen beim Fernsehen in den Randtheilen der Netzhaut sich schief stellen und dadurch den normalen Gang der Lichtstrahlen hemmen.

Die zweite Methode der Untersuchung wurde mittels des in *Fig. 120* abgebildeten Apparats bei gewöhnlichem Tageslichte ausgeführt. *A* ist ein weiß lackirter Blechstreifen von 0,3 m Länge und 0,5 m Breite, welcher nach Art der Flügel einer Windmühle um die Axe *u* gedreht werden kann. Der Blechstreifen mit seiner Axe läſst sich an einer verticalen Stahlstange *B* auf- und abschieben, welche auf einem Brettchen *C* befestigt ist. Am andern Ende des Brettchens, gegenüber der Axe des Blechstreifens, befindet sich das eine Auge des Beobachters, während sein anderes Auge durch den schwarzen Papierschirm *D* verdeckt ist, welcher an einem Holzstabe *d* so befestigt ist, daſs er nach links und rechts gedreht werden kann. Die Axe des Blechstreifens ist 0,2 m von dem Mittelpunkte der Grundlinie beider Augen des Beobachters entfernt. Das Brettchen *C* hat unten eine Handhabe.

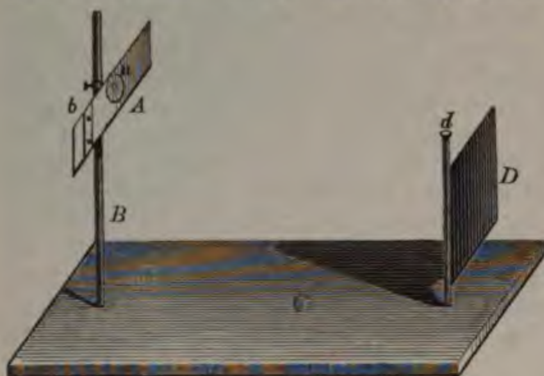


*Fig. 120.*

Bei den Versuchen legte der Beobachter die Nase an den Holzstab *d*, verdeckte mit dem Schirm das eine Auge, stützte sein Kinn auf das Brett vor dem Schirm und stellte die Axe der Blechtafel in gleiche Höhe mit den Augen. Nun fixirte er den Mittelpunkt der Tafel (oder die Spitze ihrer Axe) unverwandt, und schob allmälig von der Seite her in den Falzen der Blechtafel eine weiſse Karte *b* mit 2 Punkten nach dem fixirten Punkte hin. Sobald er, bei ununterbrochen fester Fixation, mit den seitlichen Theilen der Retina die zwei Punkte unterschied, hielt er die Karte fest und las die Entfernung der beiden Punkte von dem Fixationspunkte an einer Metereintheilung, welche sich an den Falzen der Blechtafel befand, ab, und dies wurde für verschiedene Neigungen der Blechtafel gegen
221 den Horizont ausgeführt. Die schwarzen Flecke auf der Karte waren rund, von verschiedener Gröſse und verschiedenem gegenseitigen Abstande. Beide Punkte standen immer gleich weit von der Drehungsaxe ab.

Die *Fig. 121* stellt die Resultate dieser Messungen für ein Paar schwarze Flecke von 2,5 mm Durchmesser und 14,5 mm gegenseitigen Abstand dar. Die ausgezogene Grenzlinie bezieht sich auf AUBERT's, die punktirte auf FÖRSTER's Augen. Der Schnittpunkt der *Radii vectores* entspricht dem Fixationspunkte der Augen, die gezogenen *Radii vectores* selbst entsprechen den einzelnen Messungen und ihrer Richtung nach den verschiedenen Stellungen der Blechtafel. *O* bedeutet oben, *U* unten, *A* auſsen, d. h. Schläfenseite, *I* innen oder Nasenseite. Die Linie *ab* bezeichnet

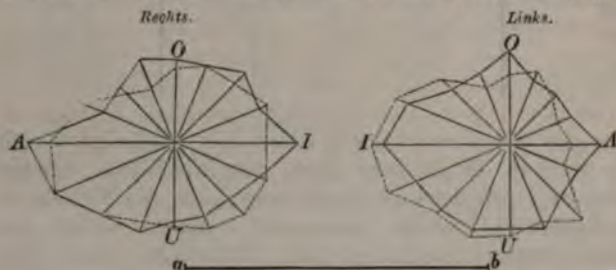


*Fig. 121.*

rechende Entfernung von der Blechtafel, welche 0,2 m betrug. Alle ensionen sind auf $^1/_5$ reducirt[1]. Es stellen also diese Flächen zunächst Theile des Gesichtsfeldes dar, innerhalb deren man zwei Punkte von gebenen Gröfse und Entfernung von einander unterscheiden kann; will entsprechenden Flächen der Netzhaut haben, so mufs man sie umkehren. relmäfsig ovale Gestalt dieser Flächen zeigt beträchtliche individuelle Ab- n selbst zwischen den beiden Augen derselben Person.

mittleren Resultate der Messungen an verschiedenen Paaren von schwarzen ind in *Fig. 122* dargestellt. Der Fixationspunkt ist *a*, und *ab*, *ac* sind die Mittel sämmtlicher Entfernungen; welche bei allen vier Augen in je 8 verschiedenen Meridianen für das bezüglich bei *b*, *c* u. s. w. stehende Paar von Punkten an der Blechtafel eingestellt wurden. Bei *c* ist das Paar von Punkten, auf welche sich *Fig. 121* bezieht. Man sieht, dafs in gröfserer Entfernung die Breite des Objects schneller mufs, als bei kleineren Entfernungen. Die gefundenen Mittelzahlen l folgende:

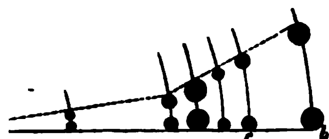


Fig. 122.

| ng der Punkte ı mm. | Durchmesser der Punkte in mm. | Mittlerer Abstand vom Centrum der Blechtafel in mm. |
|---|---|---|
| 3,25 | 1,25 | 31 |
| 6,5 | 2,5 | 50 |
| 9.5 | 3,75 | 55 |
| 2 | 1,25 | 60 |
| 4.5 | 2,5 | 65 |
| 0.5 | 3,75 | 77 |

ı Versuchen fanden die beiden Beobachter übrigens noch öfters unempfind- en der Netzhaut, gleichsam kleine blinde Flecke, wo einer der Punkte e plötzlich verschwanden. Aufser solchen Stellen, wo nur eine vorüber- 222 lendung stattzufinden schien, waren auch constante vorhanden, die immer finden sind.

die Ortsunterscheidung auf den Seitentheilen der Netzhaut so viel ist, könnte man, indem man nur die Zapfen als lichtempfindlich ansieht. auf gleiche Fläche fallende sparsamere Zahl der durch Stäbchen ge- ınd andererseits auch dickeren Zapfen zu erklären suchen. Indessen sind ERT's und FÖRSTER's Messungen die Unterschiede zwischen Centrum und gröfser, als man nach einer solchen Hypothese erwarten sollte. Die von F. SALZER zeigen Unterschiede, die das Verhältnifs von 2 zu 5 f gleicher Fläche erreichen, meist aber lange nicht so weit gehen. Gleich- iebt sich aus diesen Zählungen, dafs die Anzahl der Zapfen auf der ıen Netzhaut gegen 3 Millionen beträgt, während von Nervenfasern im etwa nur 1 Million vorhanden sein können, dafs also nicht jeder Zapfen venfaser entsprechen kann.

[1] ngabe AUBERT's, dafs sie auf $^1/_4$ reducirt seien, pafst nicht zu den angegebenen Zahlen.

n Man mufs deshalb auch für das Auge an eine andere Hypothese denken, die wahrscheinlich bei den Tastnerven zutrifft. Man denke eine mit empfindenden Elementen bedeckte Fläche, deren Nerven in ein feines anastomosirendes Netz von Nervenfäden aufgelöst sind, welches einerseits mit den zahlreichen empfindenden Elementen, andererseits mit der sehr viel kleineren Zahl zum Gehirn leitender Nervenfasern in Verbindung steht. Man setze ferner voraus, dafs jede Erregung eines empfindlichen Elements sich durch das Netz hindurch den in der Nähe aus dem Netz entspringenden Nervenfasern mittheilen könnte, aber um so schwächer, je weiter entfernt diese entspringen. Unter diesen Umständen würde jeder Punkt der Fläche empfindlich sein und die Erregung verschiedener zwischen den Abgangsstellen derselben drei Nervenfasern liegenden Punkte würde dadurch verschiedenen Eindruck machen, dafs die Erregung sich in verschiedenem Maafse auf diese drei Nervenfasern vertheilte, je nachdem der erregte Punkt der einen oder der andern unter ihnen näher gelegen wäre. Wenn man also sehr feine Abstufungen im Verhältnifs der Erregungsstärken solcher benachbarten Nervenfasern noch erkennen könnte, würde auch eine sehr feine Unterscheidung verschiedener Lagen eines einzelnen erregten Punktes und seiner Bewegung noch möglich sein. Aber zwei Eindrücke würden zwischen denselben ableitenden Nervenfasern immer nur als ein mittlerer erscheinen können. Eine solche Einrichtung würde also eine sehr beschränkte Unterscheidung zweier gleichzeitig gereizten Stellen, und dabei doch eine feine Wahrnehmung der Fortbewegung einer gereizten Stelle geben können.

Die von Tobias Mayer schon beobachtete Abhängigkeit der Unterscheidung kleiner Objecte von der Lichtstärke, auf welche wir näher in § 21 eingehen werden, würde bei der zuletzt erörterten Hypothese davon abhängen können, dafs die kleineren localen Unterschiede nur durch Unterschiede der Lichtstärke angezeigt wären, und wir bei schwacher Helligkeit nur gröfsere Bruchtheile von Lichtstärke unterscheiden.

Aber auch für das Sehen mit gesonderten empfindlichen Elementen, wie es wahrscheinlich in der Netzhautgrube stattfindet, können die oben erwähnten Zeichnungen und Muster des Eigenlichts der Netzhaut schwach beleuchtete und wenig ausgedehnte Bilder leicht unkenntlich machen, während gleichmäfsige schwache Belichtung einer ausgedehnteren Fläche leichter als von aufsen kommend zu erkennen wäre.

842 Die ärztlichen Bestimmungen der Sehschärfe werden in der Regel mit Buchstaben von verschiedener Gröfse ausgeführt, welche man aus gröfserer Entfernung und mit passender Unterstützung der Accommodation durch Brillengläser betrachten läfst. Als Maafs der Sehschärfe eines Auges benutzt man einen Bruch, dessen Zähler der Abstand ist, in welchem jene Buchstaben noch gelesen werden konnten, dessen Nenner dagegen die Entfernung ist, aus der sie unter einem Winkel von 5 Winkelminuten erscheinen. Die letzteren Entfernungen sind bei Buchstabenproben, welche Snellen veröffentlicht hat, schon angegeben.

Im Durchschnitt findet sich nach Vroesom de Haan diese Genauigkeit im 10. Lebensjahre gleich 1,1, im 40. gleich 1,0, im 80. gleich 0,5 und nimmt überhaupt mit steigendem Lebensalter continuirlich ab.

Nach den Beobachtungen von E. Javal ist aber bei Correction des Astigmatismus und guter Beleuchtung (gleich der von 500 Kerzen in 1 m Entfernung) die Genauigkeit des Sehens um $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ gröfser, als de Haan angab.

Veränderungen in der Netzhaut, welche bei der Reizung n
durch Licht eintreten. Dergleichen sind erst in neuester Zeit beobachtet worden, sie sind Bleichung des Sehroth, Bewegungen der Pigmentkörnchen in dem Pigmentepithel der Netzhaut, und elektrische Ströme.

Bleichung des Sehroth. Dafs die Aufsenglieder der Stäbchen der Frösche unter Umständen roth aussehen, war gelegentlich schon von H. Müller, Leydig und Max Schultze beobachtet worden, von letzterem auch bei der Ratte und Eule. Fr. Boll[1] fand, dafs es hauptsächlich das Licht ist, welches dieses Pigment, das er „Sehroth“ nannte, zerstört, und dafs man dasselbe regelmäfsig beobachten kann, wenn man die Frösche vor ihrem Tode im Dunkeln aufbewahrt, und das Auge schnell, bei möglichst geringem Lichte präparirt. Die genauere physikalische und chemische Kenntnifs der Bedingungen, die hierauf Einflufs haben, und der Vorgänge dabei, verdanken wir Herrn W. Kühne, nach dessen Darstellung[2] ich hier referire. Wenn man die Präparation des Auges im Natronlicht vornimmt, ist gar keine grofse Eile nöthig. Der Sehpurpur ist in den Stäbchen fast aller Wirbelthiere, auch beim Menschen gefunden worden. In der Nähe des vorderen Randes der Netzhaut fehlt er beim Menschen, Affen und andern Thieren, bei ersteren scheinen auch die im Umkreise der Netzhautgrube spärlich zwischen den Zapfen des gelben Flecks stehenden Stäbchen purpurfrei zu sein. Die Aufsenglieder der Zapfen sind nicht gefärbt, die Netzhautgrube eines frisch, unter den nöthigen Vorsichtsmafsregeln exstirpirten menschlichen Auges fand Kühne durchaus farblos[3].

Das rothe Pigment kann durch Lösung reiner gallensaurer Alkalisalze gelöst werden. Die Lösungen sind klar, purpurn in verschiedener Tiefe und Farbenton, am Lichte werden sie schnell roth, dann gelb, zuletzt farblos. Durch Dialyse kann das gallensaure Salz ausgewaschen werden, unter Rücklassung einer weichen purpurfarbigen Masse, die vom Lichte ebenfalls schnell gebleicht wird.

Die Lösung des Sehpurpur im Dunkeln verdünnt wird rosenroth, stärker verdünnt lila. Frischer Sehpurpur in Lösung läfst Roth und Violet durch; von $D \, . \, \frac{1}{2} \, . \, E$ im Gelbgrün bis $G$ an der Grenze des Violet ist die Absorption ziemlich gleich stark, an der erstgenannten Grenze ein wenig stärker, nach den Enden des Spectrum hin schwächer. Gelb gewordenes Sehroth absorbirt das Violet, läfst aber Grün wieder durch.

Im lebenden Auge mit Hülfe des Augenspiegels ist der Sehpurpur wegen des dunklen, vom Blut gerötheten Hintergrundes der Netzhaut nicht sichtbar.

Im Interferenzspectrum wird der Sehpurpur zuerst im Gelbgrün, am Orte der stärksten Absorption gebleicht; das durch die Bleichung veränderte Pigment (Sehgelb) wird dagegen durch die blauen und violetten Strahlen schneller als durch die weniger brechbaren farblos gemacht.

---

[1] F. Boll, *Berlin. Monatsber.* 12. Nov. 1876. *Accad. dei Lincei.* 3. Decbr 1876. Derselbe, *du Bois-Reymond's Archiv für Anatomie und Physiologie.* 1877. S. 4.

[2] Zusammengefafst in L. Hermann, *Handbuch der Physiologie.* Bd. III. Th. 1. *Chemische Vorgänge in der Netzhaut* von W. Kühne. Leipzig. 1879.

[3] W. Kühne, *Untersuchungen des physiol. Instituts der Univers. Heidelberg.* Bd. III. Heft 1 und 2. Bd. IV. Heft [illegible].

Man mufs deshalb auch für das Auge a
wahrscheinlich bei den Tastnerven zutrifft
Elementen bedeckte Fläche, deren Nerven
Nervenfäden aufgelöst sind, welches einers
Elementen, andererseits mit der sehr v
Nervenfasern in Verbindung steht. Man
eines empfindlichen Elements sich durch
dem Netz entspringenden Nervenfasern
je weiter entfernt diese entspringen.
der Fläche empfindlich sein und di
gangsstellen derselben drei Nervenfa
denen Eindruck machen, dafs die Er
drei Nervenfasern vertheilte, je nach
andern unter ihnen näher gelegen
im Verhältnifs der Erregungsstärk
kennen könnte, würde auch eine
eines einzelnen erregten Punktes
zwei Eindrücke würden zwisch
als ein mittlerer erscheinen kö
beschränkte Unterscheidung zw
eine feine Wahrnehmung der

Die von TOBIAS MAYER
kleiner Objecte von der Li
den, würde bei der zuletzt
kleineren localen Untersch
wären, und wir bei schw
unterscheiden.

Aber auch für da
wahrscheinlich in der N
nungen und Muster des
gedehnte Bilder leicht
einer ausgedehnteren

842 Die ärztlichen
Buchstaben von v
Entfernung und
Brillengläser bet
man einen Bruc
staben noch g
ist, aus der sic
letzteren Entfer
licht hat, s

Im Durc
im 10. Leb
nimmt üb

Nach
matismus
die Gen

die Stäbchen ungebleicht
stend stärker grünlich. nach-
worden. Stäbchen ohne Purpur.
hen Netzhaut vorkommen. lassen
die purpurfreien Zapfen: die
menschlichen Netzhäuten. auch
vorhanden sind. im Focus über-
und um so auffallender dunkel.
fluoresciren beginnen. durch
icht auch während des Lebens 10 bis
lebender Frosch braucht nur 30 Mi-
gehalten zu werden. oder zu
gesetzt zu sein, um den Purpur
erweiterten Pupillen genügt ebenfalls
Viertelstunde. Wenn man die Augen
Vorsicht präparirt, sind die Netzhäute
wenn das Licht schwächer war.
weit die Netzhaut vom Lichte getroffen
lich so aufgestellt wird, dafs es scharfe
so erhält man eine Art photographischer
me, wie sie ihr erster Darsteller, Herr

schnittenen Kaninchen- und Rindsaugen erhält
iren auf dem Grunde eines cylindrischen, innen
Durchmesser und 50 cm Höhe, der mit einer
welcher Streifen schwarzen Papiers das Object
2—7 Minuten guten Himmelslichts. Die Netzhaut
Salzwasser sogleich, oder nach 24stündigem Liegen
aunlösung von 4 pCt. abgehoben und flottirend,
Porcellanschälchen ausgebreitet betrachtet werden.
lebender Kaninchen mit durch Atropin erweiterter
chten Augen können in 10 Secunden bis 7 Minuten
ach schneller Tödtung des Thieres beobachtet werden.
nommenen Netzhäute, 8 Tage lang im Dunkeln ge-
gefärbtes Sehgelb, welches am Licht kaum noch ver-
das Haften des schwarzen Epithels an den belichteten
am besten wird dies überwunden, wenn man die curare-
Augen im Wasser ödematös macht und dann das Lichtbild

des Purpurs geht im lebenden Auge durch dieselben
im Tode, aus purpurroth wird sie reinroth, ziegelroth,
gelb, bevor sie ganz farblos wird.
Auge stellt sich der Sehpurpur im Dunkeln wieder her;
in ausgeschnittenen Augen, die dem Blutumlauf entzogen

im Dunkeln sogar noch an der ausgeschnittenen Netz-
it dem Pigmentepithel ihrer Rückseite in Berührung ist,
abgehoben worden und dann wieder aufgelegt ist. Die
keit des Pigmentepithels kann schnell durch Erhitzen der
aufgehoben werden, sonst geht sie durch Absterben lang-
bei Säugern schneller als bei Fröschen. Übrigens wirkt auch
enthaltige Epithel albinotischer Kaninchenaugen regenerirend,
solche Versuche am Säugethierauge wegen des schnellen Ab-
Epithels nur unvollständig gelingen.
entfärbtes Auge eines lebenden Frosches braucht 20 Minuten
um die erste Spur der Stäbchenfärbung wieder zu gewinnen, 1
Stunden, im Eiswasser sogar bis 9 Stunden, um den Purpur wieder
ellen. Kaninchen brauchen 7 Minuten Dunkelheit, um den ersten
33 bis 38 Minuten, um die volle Sättigung des Purpurs herzustellen.
oder kann sehr scharf durch Optogramme entschieden werden, die man
im lebenden Auge erzeugt, und nachher in der Dunkelheit wieder ausblassen
läfst, ehe man das Thier zur Untersuchung des Auges tödtet.

Der sich regenerirende Sehpurpur zeigt nicht die gelblichen Färbungen des bleichenden Purpurs, sondern tritt gleich lila oder rosenroth hervor. Es wird also bei der Regeneration ganz gebleichten Purpurs kein Sehgelb wieder gebildet. Sehr viel schneller geht dagegen die Herstellung des Purpur von statten, wenn die Bleichung nur bis zur Bildung von Sehgelb fortgeschritten ist, also mufs dies in Purpur zurückgeführt werden können. Und auch an Froschnetzhäuten, die vom Epithel getrennt, gebleicht, und dann auf das Epithel zurückgelegt sind, beobachtet man diese schnellere Regeneration durch gelb hindurch. Herr W. Kühne nimmt an, dafs in diesen Fällen das Sehgelb, beziehlich dessen farbloses Product das Sehweifs der Stäbchen noch nicht verloren gegangen sei, und das Material zur Neubildung des Purpurs gebe. Ist aber das Sehweifs den Stäbchen im lebenden stark belichteten Auge verloren gegangen, so müssen die Epithelzellen neues Material liefern, welches nicht gelb wird.

Übrigens zeigen auch Lösungen von Sehpurpur schwache Regeneration, um so deutlicher, wenn die Netzhaut in die Cholatlösung mit der Epithelschicht eingebracht war. Die regenerirende Substanz aus dem Epithel scheint also in kleinen Mengen löslich zu sein.

Die Epithelzellen scheinen selbst gegen Licht empfindlich zu sein und ihre regenerirende Fähigkeit dadurch zu verlieren, wobei rothes Licht, wie es auch durch die natürlich gefärbten Stäbchen ihnen zukommt, weniger schädlich ist, als andres. Es zeigt sich dies, wenn man von dem Pigment abgezogene Netzhäute von ödematösen Curarefröschen auf die mehr oder weniger dem Lichte ausgesetzt gewesene Pigmentschicht eines andern Froschauges bringt. Rothe Belichtung zeigt sich dabei sehr wenig nachtheilig für die regenerativen Processe. Die Schwächung der Epithelwirkung durch Belichtung zeigt sich auch darin, dafs eine gewisse Stärke rother Belichtung,

welche die Augen von Dunkelfröschen nicht bleicht, doch im Stande ist, die Wiederfärbung gebleichter Augen zu verhindern.

Da Sehpurpur in den Aufsengliedern der Zapfen bisher nie gefunden wurde, auch nicht bei der gröfsten Schnelligkeit der Präparation und Vorsicht in der Belichtung des Auges, und die Netzhautgrube, in der wir die schärfste Localisation beim Sehen finden, keine Stäbchen und keinen Purpur enthält, aufserdem ganze Thierclassen keinen Purpur in ihren Augen zeigen (Schlangen, die meisten Wirbellosen), so kann zweifellos ohne Purpur gesehen werden. Ja auch bei Thieren, welche nur Stäbchen, oder wenigstens nur purpurhaltige Elemente in ihrer Netzhaut haben, wie die Kaninchen, ist es nach Kühnes Beobachtungen sicher, dafs sie sehen, selbst wenn man sie vorher so lange dem Sonnenlichte ausgesetzt hat, dafs ihre Netzhaut vollständig gebleicht sein mufs.

Man wird dem Sehpurpur nur Functionen zuschreiben können, durch welche sich die peripherischen Theile der Netzhaut vor dem Centrum auszeichnen. Wir werden später sehen, dafs jene für schwache Lichteindrücke, namentlich bewegter Gegenstände empfindlicher sind. Bekannt ist, dafs feine Lichtpunkte, wie die Plejaden, direct fixirt, fast verschwinden, bei Fixation eines nahe gelegenen andern Sterns dagegen viel heller zum Vorschein kommen. Wir kommen in § 21 und 23 hierauf zurück.

Einwirkung des Lichts auf das Pigmentepithel. Bewegungen der Pigmentkörnchen im Innern von Zellen, wo sie in contractiles Protoplasma eingelagert sind, kommen auch aufserhalb des Auges unter dem Einflufs von Licht vor. Am auffallendsten sind sie in der Haut der Chamäleonten, wo sie von E. Brücke untersucht worden sind, ebenso in der Haut der Frösche. Dafs die Pigmentschicht nach Belichtung der Netzhaut stärker anhaftet, war von Boll[1] bemerkt worden, die Bewegung der Körnchen von Czerny[2], Angelucci[3], W. Kühne erkannt und studirt. Ich referire wieder nach des Letzteren zusammenfassender Darstellung.

Bei Fröschen, die im Dunkeln gesessen haben, liegen die Pigmenthäufchen um die äufseren Enden der Stäbchen zusammengedrängt, so dafs die Endflächen der Stäbchen, die den Pigmentzellen anliegen, unbedeckt bleiben, und Licht von der Aufsenseite der Netzhaut durch die Axe der Stäbchen nach innen durchgehen kann. Versucht man, die Netzhaut abzuziehen, so löst sie sich in der Regel von der Schicht der Pigmentzellen, indem deren zwischen die Stäbchen eindringenden Fortsätze herausgezogen werden.

Wirkt Licht ein, so verbreitet sich das Pigment sowohl hinter der Endfläche des Stäbchens, als in die Fortsätze zwischen die Aufsenglieder, theilweis sogar zwischen die Innenglieder der Stäbchen und Zapfen, und da auch gleichzeitig die Aufsenglieder der Stäbchen schwellen, so liegen sie

---

[1] F. Boll, *Monatsber. d. Akad. Berlin.* 1877. Jan. 11.
[2] Czerny, *Wiener Sitzungsber.* LVI.
[3] A. Angelucci, *Atti dell' Acad. d. Lincei.* 1877—78. Ser. III. Vol. 2. p, 1031—1055, auch im *Archiv für Anat. u. Physiol.* 1878.

fester zusammengedrängt zwischen den gefüllteren Pigmentfortsätzen. Dadurch scheint das Haften derselben bedingt zu sein. Bei niederer Temperatur tritt es weniger stark ein. Die Wanderung des Pigments beginnt, noch ehe die Bleichung des Sehpurpurs erheblich vorgeschritten ist, sie schreitet nach Kühne am weitesten fort in rother Beleuchtung, welche den Purpur nur langsam bleicht. Angelucci fand blaues Licht wirksamer. Zum vollständigen Vordringen des Pigments genügen nach ihm 10—15 Minuten, zur Rückbildung sind $1^1/_2$ bis 2 Stunden nöthig.

Die Erscheinungen sind am vollständigsten an Fröschen zu studiren, doch zeigt sich das stärkere Haften nach Belichtung deutlich auch bei Vögeln und Säugethieren, und ist in einem geeigneten Falle von Kühne auch am Menschen beobachtet worden.

Dafs das Vortreten des Pigments die Regeneration des Sehpurpurs sehr erleichtern, seine Bleichung verzögern werde, scheint wahrscheinlich, dafs es Ausbreitung und Reflexion des Lichtes in der musivischen Schicht der Netzhaut beschränke, ebenfalls. Dagegen erscheint die Bewegung des Pigments, so weit wir sie bisher kennen, viel zu träge, als dafs sie dem schnellen Wechsel von Licht und Dunkel auf der Netzhaut entsprechen könnte, und die Pigmentzellen zu grofs, als dafs sie Sehelemente darstellen könnten. Zu bemerken ist freilich, dafs auch die sehr schnelle Flimmerbewegung der mit Wimperhärchen versehenen thierischen Zellen durch Protoplasma vermittelt ist. Wenn also Lichtreiz in den Pigmentkörperchen vibrirende Bewegungen, ähnlich denen der Brownschen Molecularbewegung hervorbringen könnte (wofür aber bisher noch jede Beobachtung fehlt), so könnten dadurch auch wohl die zwischen den Pigmentfortsätzen liegenden Aufsenglieder der Stäbchen und Zapfen gereizt werden.

Neuerdings hat Herr van Genderen Stort[1] gefunden, dafs sich auch die Innenglieder der Zapfen unter Lichteinwirkung zusammenziehen, kürzer und dicker werden. Die gewöhnlich gegebenen Abbildungen der Zapfen entsprechen diesem belichteten Zustand. Mäfsiges Tageslicht bringt dies in 10—15 Minuten hervor; die brechbaren Strahlen wirken schneller, doch ist schliefslich das Maximum der Contraction immer dasselbe. Die Veränderung kann in rothem Licht ohne gleichzeitiges Hervortreten des Pigments vorkommen. Übrigens wirkt nicht blos Licht, was die Netzhaut trifft, sondern reflectorisch auch solches, was das andere Auge oder die Haut des Frosches trifft.

Electrische Ströme des Sehnervenapparates.

Nach den Entdeckungen von E. du Bois-Reymond erregen alle Nervenstämme des thierischen Körpers elektrische Ströme, wenn an ihnen in noch reizbarem Zustande ein Querschnitt angelegt, und ein leitender Bogen mit einem Ende an die natürliche Oberfläche des Nerven (natürlichen Längsschnitt) mit dem andern an den Querschnitt angelegt wird. Der Bogen mufs

---

[1] van Genderen Stort. *Akad. zu Amsterdam.* Sitzung 28. Juni 1884

so eingerichtet sein, daſs in ihm keine selbständige elektromotorische Kraft ihren Sitz hat, namentlich nicht an den Stellen, wo die feuchten Leiter, die zunächst den thierischen Theilen anliegen, an die metallischen Elektroden stoſsen, die das Ende des Galvanometerdrahtes bilden. Der Strom geht im ungereizten Zustande des Nerven vom Längsschnitt durch den Bogen zum Querschnitt. Diesen Strom bezeichnet E. du Bois Reymond als den ruhenden Nervenstrom. Er verschwindet, wenn der Nerv abstirbt.

Um die galvanische Polarisation bei solchen Versuchen möglichst zu vermeiden, werden nach des genannten Autors neueren Vorschriften[1] die Enden der Multiplicatorleitung mit zwei kleinen amalgamirten Zinkplättchen versehen, die in Glasröhren mit concentrirter Lösung von Zinksulphat gefüllt stecken, an ihrem unteren Ende verengert und durch Pfröpfe von plastischem Thon geschlossen sind. Der Thon ist mit 0,75 bis 2 procentiger Kochsalzlösung durchtränkt, weil dies eine Flüssigkeit ist, deren Berührung den Lebenseigenschaften der thierischen Gewebe sehr wenig nachtheilig ist. Bei den Versuchen über Ströme der Netzhaut hat neuerdings Herr W. Kühne noch feine Membranstücke der Froschlunge über den Thon gebreitet.

Wenn der Nerv, von dessen Querschnitt der Strom abgeleitet wird, gereizt wird, sei es durch eine Reihe hin- und hergehender elektrischer Inductionsströme, sei es in andrer Weise, so tritt eine Verminderung des Stromes, beziehlich Umkehr desselben ein, die negative Schwankung des Nervenstroms. Dieselbe schwindet ebenfalls beim Absterben des Nerven, pflanzt sich im lebenden Nerven mit derselben Geschwindigkeit fort, wie die Reizung, und zwar nach aufwärts, wie nach abwärts, und ist nach allem, was wir darüber wissen, die stete Begleiterin des Eintritts der Reizung. Beim Aufhören der Reizung schwindet sie wieder ziemlich schnell, indem der Strom des ruhenden Nerven wieder eintritt.

Die beschriebenen Erscheinungen sind nach den Untersuchungen von Herrn W. Kühne auch am Stamm des Sehnerven zu beobachten, ganz in derselben Weise wie an den motorischen Nerven, und es ist ihm sogar gelungen die negative Schwankung am Sehnerven des Frosches bei Reizung der Netzhaut durch Licht nachzuweisen. Der Versuch wird nur schwierig durch die Kleinheit der Objecte und die Nothwendigkeit die subtile Präparation bei schwacher Beleuchtung mit rothem Licht oder Natronlicht in einem übrigens dunklen Raum schnell zu vollenden, da eines der zwischen Netzhaut und Sehnerven eingeschalteten Gebilde verhältniſsmäſsig schnell seine Reizbarkeit verliert, während die genannten Organe selbst ziemlich ausdauernd sind.

Die Sehnerven gröſserer Fische (Barsch, Hecht) lassen sich bequemer präpariren; aber die Reizbarkeit der Augen ist nicht so ausdauernd, wie

---

[1] E. du Bois-Reymond, *Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken.* Abhandl. d. Akad. zu Berlin. 1862. Phys. Cl. S. 65; auch in *Gesammelte Abhandlungen zur Muskel- u. Nervenphysik.* Bd. I. Berlin 1875. S. 145—168.

die der Frösche, deren Sehnerven bei den gröſsten Exemplaren nur 4 bis 4.5 mm lang ist. Bei letztern ist es Herrn KÜHNE gelungen, indem er die Elektroden nur am Längsschnitt und Querschnitt des Sehnerven verlegte, eine allerdings kleine negative Schwankung bei Einwirkung des Lichts auf den Bulbus von der Hornhaut her zu beobachten. Der einzige Unterschied der sich zeigte war eine meist noch bei Unterbrechung der Beleuchtung eintretende kurze Verstärkung der negativen Schwankung, nach welcher erst der Ruhezustand wieder eintrat. Herr KÜHNE bezeichnet dies als die negative Schluſsschwankung. Sie schwindet im Laufe des Absterbens eher als die gewöhnliche negative Schwankung, die wir von den Muskelnerven kennen.

Auffallendere Abweichungen von dem Gesetze der Muskelnerven zeigt die Netzhaut, der auch in ihrer elektrischen Wirksamkeit eine ungemein feine Empfindlichkeit zukommt, welche sich sogar im isolirten Zustande als ziemlich ausdauernd erweist.

Der Ruhestrom der Netzhaut, wenn man die Elektroden an die entgegengesetzten Seiten der Membran anlegt, geht von der vorderen Seite, wo die Sehnervenfasern liegen, durch den leitenden Bogen zur Stäbchenseite. Er hat also die Richtung des Stromes der ruhenden motorischen Nerven, wenn wir die Ausbreitung der Sehnervenfasern als die hier wirksame Faserschicht betrachten, die hinteren Schichten der Netzhaut als deren natürliche Querschnitte.

Betrachten wir diese Richtung des Ruhestromes als die positive Richtung der Netzhautströme, so giebt plötzliche Belichtung der Netzhaut des Frosches, sei es mit blauem, grünem, gelbem, rothem oder weiſsem Lichte, erst einen ganz kurzen Ausschlag in positivem Sinne, dann eine negative Schwankung, welche eine verhältniſsmäſsig constante Ablenkung des Galvanometers hervorbringt, die nur langsam bei gleichmäſsig andauernder Belichtung sich dem ursprünglichen Ruhezustande wieder nähert, Diese negative Schwankung ist nicht nothwendig absolut negativ, d. h. die Stromstärke geht nach Ablauf des anfänglichen positiven Ausschlags allerdings zurück, aber sie bleibt dann gerade bei den frischesten Präparaten oft bei einem höher positiven Werthe als dem des Ruhestromes stehen. Bei abnehmender Reizbarkeit schwindet der positive Vorschlag und tritt die negative Schwankung ohne einen solchen ein. Dasselbe geschieht, wenn die Thiere vor dem Versuch im Hellen gesessen haben.

Wenn man die Beleuchtung plötzlich unterbricht, so tritt erst wieder ein kurzer positiver Ausschlag ein, ehe die Netzhaut auf den Ruhestrom zurückkehrt. Auch dieser positive Nachschlag fehlt den Muskelnerven und schwindet bei abnehmender Reizbarkeit der Netzhaut in der Regel erst später, als der positive Vorschlag bei beginnender Reizung.

An Kaninchenaugen haben HOLMGREN wie KÜHNE nur das Stadium der einfachen negativen Schwankung ohne positiven Vorschlag gesehen; wohl aber kam der Nachschlag vor.

[illegible] der Netzhaut scheint keine elektromotorische Kraft [illegible] Netzhaut mit Pigment bedeckt wirkt ebenso, wie ohne [illegible] Pigment, die Netzhaut auf der Aderhaut haftend, zeigt [illegible] Änderung bei eintretender Beleuchtung.

Die [illegible]empfindlichkeit der isolirten Netzhaut kann noch erstaunlich [illegible] negative Schwankung durch eine glimmende [illegible] entfernt erhalten, ebenso durch das von seinem Gesicht zu[illegible] einer Kerze, ja sogar durch das Phosphorescenzlicht der [illegible]

[illegible] der [illegible]empfindlichkeit fanden sich bis 24 Stunden nach der [illegible] der Netzhaut des Frosches, wenn sie in der feuchten Kammer und [illegible] aufbewahrt war.

[illegible] zeigt bei Froschen auf Lichteinwirkung im frischesten [illegible] das Auftreten eines andauernden positiven Stroms, dem bei [illegible] der positive Nachschlag und Rückgang in die Ruhe[illegible] beim Absterben oder nach Mifshandlung fängt die negative [illegible]

[illegible] ausgeschnittenen Bulbus verliert die Netzhaut ihre Er[illegible] schnell auch durch Belichtung, während sie isolirt, in [illegible] Sauerstoff der Luft, sich wieder erholen kann.

[illegible] unvermindert, auch wenn man die ganze vor[illegible] Augenkapsel mit der Iris wegnimmt, ja selbst die Zonula [illegible] Linse vorsichtig entfernt. Erst wenn man an der Zo[illegible] Glaskörper abreifsen läfst, oder hineinbläst, tritt die nega[illegible] des Netzhautstroms hervor. Diese scheint deshalb von [illegible] Zusammenhanges der Netzhaut herzurühren; [illegible] eine Störung ihrer [illegible] mit dem regeneriren[illegible]

[illegible] ähnliche Erscheinung kommt beim gewöhnlichen [illegible] Muskels vor, der von den Sehnenflächen aus, die nach [illegible] den natürlichen Querschnitt des Muskels bilden, [illegible] elektromotorisch gegen den Längsschnitt wirkt, ehe [illegible] einer Weise verletzt, und zu seinem Absterben [illegible] genannte Autor schliefst daraus, dafs in den Enden [illegible] der Sehnenfläche eine eigenthümlich wirkende [illegible] wirksamen Molekeln liege, die er die parelek[illegible] welche, so lange sie kräftig wirksam ist, die übrigen [illegible] Anordnungen des ruhenden Muskels nach aufsen hin nahezu un[illegible] Die [illegible] über die negative Stromesschwankung bei der [illegible]

In der Netzhaut müfste die leicht zerstörbare Schicht die Schwankung bei der Reizung mitmachen, so dafs sie die negative Schwankung der dauerhafteren Elemente nach aufsen hin verdeckt, so lange sie kräftig ist.

Bei den Fischen ist die Schwankung auf Belichtung von Anfang negativ, und sogar im Anfang am stärksten, so dafs Herr KÜHNE in seinen Figuren einen stärker negativen Vorschlag anzeigt.

Wenn die bei diesen Erscheinungen sich zeigenden entgegengesetzt gerichteten Wirkungen nicht ganz gleich schnell eintreten und aufhören, könnten sich daraus auch die Vorschläge und Nachschläge bei Eintritt und Aufhören der Reizung erklären, die von den Erscheinungen an den Nervenstämmen abweichen. Zur Zeit ist es noch nicht möglich in einem Gebilde von so verwickeltem Bau, wie es die Netzhaut ist, in der überdiefs verschiedene nach verschiedenen Richtungen hin elektromotorisch wirkende Theile von verschiedenem Grade der Verletzbarkeit vorkommen, den Einflufs, den die einzelnen haben, von einander zu sondern. Zunächst aber ist die wichtige Thatsache festgestellt, dafs Änderungen in der elektromotorischen Wirksamkeit auf Reizung im Sehnerven und in der Netzhaut ebensogut, wie in den Nervenstämmen und Muskeln erfolgen. Diese Vorgänge, sowie die beobachteten chemischen Änderungen und Bewegungen sichtbarer Theilchen zeigen, dafs auch in der Netzhaut durch das Licht zunächst Wirkungen auf die ponderablen Theile derselben hervorgebracht werden, ähnlich denen, die in den gereizten Muskeln und Nervenstämmen vorgehen. Da elektrische Ströme die feuchten thierischen Gebilde nicht durchfliefsen können, ohne elektrische Zersetzungen hervorzurufen und die Jonen in ihrem Sinne wandern zu lassen, so ist auch von dieser Seite her der Eintritt chemischer Bewegungen während der Lichtwirkung constatirt.

Die Erscheinungen des blinden Flecks wurden von MARIOTTE entdeckt, der 222
mit der Absicht an diese Versuche ging, zu untersuchen, welcher Art das Sehen auf der Eintrittsstelle des Sehnerven sei. Der Versuch erregte damals solches Aufsehen, dafs er ihn 1668 vor dem Könige von England wiederholte. PICARD gab dem Versuche eine Form, bei der man beide Augen offen halten kann, und doch eine Sache nicht sieht. Zu dem Ende befestigte er an einer Wand ein Papier, stellte sich in die Entfernung von etwa 10 Fufs davon, und liefs die Augen nach dem nah vor das Gesicht gehaltenen Finger convergiren, so dafs in beiden Augen das Bild auf den blinden Fleck fällt, und deshalb gar nicht gesehen wird, während es sonst unter diesen Umständen doppelt erscheint. MARIOTTE überbot ihn, indem er bei zwei offenen Augen zwei Objecte verschwinden liefs. Man befestigt an der Wand zwei Papiere gleich hoch, drei Fufs von einander, stellt sich 12 bis 13 Fufs von der Wand entfernt, hält den Daumen etwa 8 Zoll weit vom Auge, so dafs er dem rechten Auge das linke Papier, dem linken Auge das rechte Papier verdeckt, und fixirt den Daumen, dann verschwinden auch die beiden Papiere, weil sie in demjenigen Auge, dem sie nicht verdeckt sind, auf den blinden Fleck fallen. LE CAT versuchte auch schon die Gröfse des blinden Flecks auf der Netzhaut zu berechnen, wobei er ihn freilich viel zu klein, nämlich 1/5 bis 1/4 Linie fand. DANIEL BERNOUILLI zeichnete seine Form auf den Fufsboden, indem er eine Münze auf den Fufsboden eines Zimmers legte, ein Pendel nahm, dessen eines Ende er an das rechte Auge hielt, und das andere den Boden fast berühren liefs. Das linke Auge verschlofs er, mit dem rechten sah er am Pendel herunter, und suchte nun die Stellen auf dem Fufsboden auf, wo die Münze anfing unsichtbar zu werden; er fand eine fast elliptische Figur. Die Berechnung der Gröfse des blinden Flecks auf der Netzhaut lieferte ihm aber wegen ungenügender Kenntnifs der optischen Constanten des Auges einen zu hohen Betrag, nämlich 1/7 des Augendurchmessers.

Es knüpft sich an die Entdeckung von Mariotte sogleich eine weitläufige Discussion über eine Frage, die bei den damaligen geringen Kenntnissen der Nervenleistungen natürlich gleich entstehen mufste, nämlich die Frage, ob denn überhaupt die Netzhaut es sei, wie Keppler und Scheiner vorausgesetzt hatten, welche das Licht empfände. Mariotte schlofs, dafs es vielmehr die Aderhaut sei, denn diese fehlt im blinden Flecke, während die Fasern der Netzhaut dort gerade recht dicht zusammenliegen. In der That schlossen sich eine Reihe namhafter Optiker der Meinung von Mariotte an, wie Mery, Le Cat, Michell, unter den Neueren D. Brewster. Es wurde namentlich hervorgehoben, dafs die Netzhaut das Licht wegen ihrer Durchsichtigkeit nicht zurückhalte, dafs sie zu dick sei, um ein scharfes Bild zu geben; auch suchte Le Cat nachzuweisen, dafs die Aderhaut eine Fortsetzung der *Pia Mater* des Gehirns sei. Die Lichtempfindlichkeit der Netzhaut wurde vertheidigt, durch Pecquet, de la Hire, Haller, Porterfield, Perrault, Zinn. Der Hauptgrund für die Meinung dieser Männer war eigentlich immer nur, dafs die Netzhaut die anatomische Entfaltung eines mächtigen Nerven ist, während die Aderhaut nur wenige dünne Nerven enthält. Was sie sonst von Gründen beibringen konnten, um ihre Meinung zu stützen und die Schwierigkeiten des Mariotte'schen Versuchs zu beseitigen, war nicht viel werth. Porterfield nahm an, dafs der Sehnerv, an seiner Eintrittsstelle noch von den sehnigen Nervenscheiden umgeben und durchzogen, nicht weich und zart genug sei, um ein so feines Agens, wie das Licht sei, zu empfinden. Haller hebt ebenfalls hervor, dafs an der Eintrittsstelle des Sehnerven keine eigentliche Netzhaut vorhanden sei, sondern eine weifse cellulöse und poröse Haut, die zum Sehen untauglich sein könne, ohne dafs die Netzhaut es sei. Andere, wie Rudolphi, anfangs auch Coccius, glaubten, dafs die unempfindliche Stelle nur den Centralgefäfsen der Sehnerven entspräche, was aber widerlegt wurde, sobald man die optischen Constanten des Auges besser kennen lernte, z. B. durch Hannover, E. H Weber, A. Fick und P. du Bois-Reymond. J. Müller glaubte die Erscheinung durch die Annahme erklären zu können, dafs die Mariotte'sche Erscheinung analog sei dem Verschwinden der Bilder gefärbter
223 Objecte, die auf weifsem Grunde liegen auf den Seitentheilen der Netzhaut, worauf wir in § 23 zurückkommen werden. Es geschieht dies durch Ermüdung der Netzhaut. Auf der Eintrittsstelle des Sehnerven, meinte er, geschehe es nur sehr viel schneller und plötzlicher. Dagegen ist einzuwenden, dafs ein helles Object, welches in dem ungesehenen Raume des Gesichtsfeldes plötzlich auftaucht, gar nicht wahrgenommen wird, also auch die Sehsinnsubstanz gar nicht reizt, also auch nicht ermüden kann.

Die oben gegebenen nothwendigen Folgerungen aus den Thatsachen stellte Referent im Jahre 1851 auf, und dehnte den Schlufs, dafs das objective Licht unfähig sei, die Sehnervenfasern zu afficiren, auch gleich auf die an der vorderen Fläche der Netzhaut verlaufenden Fasern aus. Da ein anatomischer Zusammenhang der Stäbchenschicht mit den Nervenelementen der Netzhaut damals noch nicht bekannt war, so blieb nur die Annahme, dafs die Nervenzellen oder Körner der Netzhaut die lichtempfindenden Elemente seien. Bald darauf entdeckte H. Müller die Radialfasern der Netzhaut, welche die Zapfen und Stäbchen mit den Elementen verbinden, Koelliker wies dieselben am Menschen nach, und beide schlossen daran die Vermuthung, dafs die Elemente der Stäbchenschicht die lichtempfindlichen seien, für welche schliefslich von H. Müller auch der physiologische Beweis gegeben wurde. Dieselbe Ansicht war übrigens, freilich ohne genügende Kenntnifs der mikroskopischen Elemente, früher von Treviranus aufgestellt worden, der die lichtempfindlichen Elemente Nervenpapillen nannte.

Die Genauigkeit des Sehens hat man viel untersucht seit der Zeit, wo man anfing Teleskope zu bauen. Hooke wendete gleich zuerst das richtige Princip an, indem er untersuchte, bei welchem Winkelabstande Doppelsterne als solche erkannt werden können. Die meisten folgenden Beobachter dagegen suchten nach der kleinsten Gröfse eines schwarzen Flecks, der noch erkannt werden könnte, und erhielten natürlich sehr abweichende Resultate, so Hevelius, Smith, Jurin, Tob. Mayer, Courtivron, Muncke, Treviranus. Den Einflufs der Erleuchtung bei diesen Versuchen erkannten Jurin und [illegible]er. Ersterer glaubte die Thatsache, dafs zwei Striche von einander zu trennen, erst

bei einem gröfseren Sehwinkel möglich sei, als jeden einzelnen von ihnen zu erkennen, daraus zu erklären, dafs das Auge zitterte und deshalb die Bilder zweier Stäbe sich deckten. Die Gründe, warum nur die Trennung distincter Objecte ein constantes Maafs geben kann, entwickelte Volkmann, und nach dieser Methode wurden Messungen von E. H. Weber, Bergmann, Marié Davy und die oben angeführten ausgeführt.

Für die Entdeckung des Sehpurpurs sind im Text schon die hauptsächlichsten Litteraturnachweise gegeben. Die übrigen werden in der vollständigen Litteraturübersicht am Schlusse des Werkes folgen. *n*

Die Reizungströme der Netzhaut wurden von Holmgren[1] 1870 gefunden, unabhängig von ihm (1874) auch von den Herrn Dewar und M'Kendrick[2]. Die feinere Ausarbeitung dieses Gegenstandes, welche erst unter Berücksichtigung der mittels des Sehpurpurs constatirten grofsen Lichtempfindlichkeit der Netzhaut, und unter Anwendung der dabei gefundenen Methoden sie unversehrt zu halten, möglich wurde, verdanken wir hauptsächlich Herrn W. Kühne[3].

## § 19. Die einfachen Farben.

Wir gehen jetzt über zur Untersuchung der Empfindungen, welche verschiedenartiges Licht im Sehnervenapparat erregt. Es giebt, wie wir schon im § 8 auseinandergesetzt haben, Licht von verschiedener Schwingungsdauer, welches sich aufserdem in physikalischer Beziehung durch seine Wellenlänge, seine Brechbarkeit und Absorptionsfähigkeit in gefärbten Mitteln unterscheidet. In physiologischer Beziehung unterscheidet sich Licht von verschiedener Schwingungsdauer im Allgemeinen dadurch, dafs es im Auge die Empfindung verschiedener Farben erregt. *224*

Fast alle Lichtquellen, welche wir kennen, entsenden gleichzeitig Licht verschiedener Schwingungsdauer. Um aus solchem gemischten Lichte einfaches Licht, d. h. Licht von einem einzigen Werthe der Schwingungsdauer auszusondern, ist die Brechung in durchsichtigen Prismen das vollkommenste Mittel. Wenn von einer entfernten Lichtquelle *a* (*Fig. 123*) einfaches blaues Licht durch ein Prisma *P* in das Auge des Beobachters *O* fällt, so werden die Lichtstrahlen im Prisma gebrochen, von ihrem früheren Wege abgelenkt, und der Beobachter erblickt daher das Bild der Lichtquelle verschoben in der Richtung, nach welcher der brechende Winkel *p* des Prisma gekehrt ist, etwa bei *b*, natürlich in der Farbe des Lichts, *225*

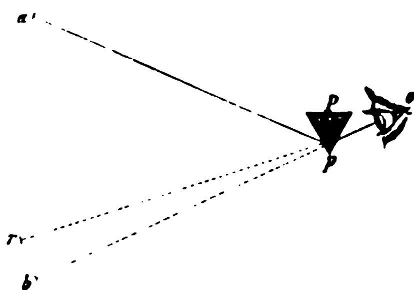


*Fig. 123.*

[1] F. Holmgren, *Upsala Läkareförenings Förhandlingar.* Vol. VI. 1870—71. No. 5. p. 419. Auch in *Untersuchungen aus dem Physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg.* Bd. III. S. 278.

[2] Dewar und M'Kendrick, *on the Physiological action of light. Transact. of the R. Society of Edinburgh.* Vol XXVII. p. 141.

[3] W. Kühne, *Untersuchungen aus dem Physiologischen Institute d. Univ. Heidelberg.* Bd. III. S. 327—377 Bd. IV. S. 1 bis 106 (1881).

welches von $a$ ausgegangen ist, hier also blau. Fällt einfaches Licht anderer Brechbarkeit, etwa rothes, von $a$ durch das Prisma in das Auge des Beobachters, so sieht er wieder ein Bild der Lichtquelle, jetzt roth, und weniger weit verschoben, als das blaue war, etwa bei $r$. Geht gleichzeitig rothes und blaues Licht von $a$ aus, so sieht der Beobachter auch gleichzeitig das rothe Bild bei $r$ und das blaue Bild bei $b$; und geht endlich weifses Licht von $a$ aus, welches sowohl rothes, als blaues, als auch Licht von allen anderen Stufen der Brechbarkeit enthält, so entspricht jeder einzelnen Farbe ein besonderes Bild der Lichtquelle, und zwar so, dafs die Bilder der zwischen roth und blau liegenden Farben sich nach der Ordnung ihrer Brechbarkeit zwischen $r$ und $b$ einreihen. Sind sehr viele solche farbige Bilder zwischen $r$ und $b$ eingeschoben, und hat jedes eine gewisse Breite, die der Breite des leuchtenden Objects bei $a$ nahehin gleich ist, so wird jedes einzelne farbige Bild einen Theil seiner Nachbarbilder verdecken. Auch ist leicht einzusehen, dafs es desto weniger die Nachbarbilder decken und sich mit ihnen vermischen wird, je schmaler das leuchtende Object ist, und je schmaler daher auch jedes einzelne farbige Bild wird, verglichen mit der ganzen Länge des Spectrum $r b$. Wenn in dem von der Lichtquelle ausgehenden Lichte Strahlen von allen continuirlich in einander übergehenden Stufen der Brechbarkeit vorkommen, kann man zwar nicht vollständig verhindern, dafs die nächst benachbarten Bilder der Lichtquelle sich decken, aber man kann die Lichtquelle und ihre Bilder so schmal machen, dafs sich nur noch solche Bilder decken, welche Farben angehören, für welche die Unterschiede der *Brechbarkeit verschwindend klein sind.

Wenn die Lichtquelle ein sehr feiner Spalt ist, durch den zusammengesetztes Licht fällt, so bildet jeder einzelne Punkt des Spaltes nach der eben gemachten Auseinandersetzung ein linienförmiges Spectrum. Das prismatische Bild des ganzen Spaltes erscheint demnach dem Beobachter als ein farbiges Rechteck, dessen der Lichtquelle zugekehrtes Ende roth, das entgegengesetzte violett ist. Dazwischen finden sich allmälig in einander übergehend eine Reihe anderer Farben, nämlich, vom Roth anfangend, zunächst Orange, dann Gelb, Grün, Blau, endlich Violett. Man nennt ein solches durch das Prisma mit getrennten Farben entworfenes Bild einer Lichtlinie
226 ein *prismatisches Spectrum*, und zwar ist es, nach der bisher beschriebenen Beobachtungsweise entworfen, ein *subjectives* Spectrum, da es nur einem virtuellen Bilde der Lichtquelle entspricht. Man kann es aber auch zu einem reellen Bilde machen, indem man hinter das Prisma da, wo sich bisher das Auge des Beobachters befand, eine Sammellinse aufstellt, welche die durch das Prisma gebrochenen Lichtstrahlen zu einem reellen Bilde von $r b$ in oder hinter ihrem Brennpunkte vereinigt. So erhält man ein *objektives Spectrum*. Ein solches wird schon bei der ersten Beobachtungsweise auf der Netzhaut des Beobachters entworfen. Wenn das von der Lichtquelle ausgehende Licht alle continuirlich in einander übergehenden Grade der Brechbarkeit darbietet, ist, wie wir gesehen haben, auch das

Spectrum eine continuirlich beleuchtete Fläche. Wenn aber von der Lichtquelle nur Licht von bestimmten einzelnen Werthen der Brechbarkeit ausgeht, so kann das Spectrum auch nur so viele einzelne verschiedenfarbige Bilder der Lichtquelle enthalten, als Grade der Brechbarkeit unter den Strahlen vorkommen, und man wird dann die Lichtquelle und ihre Bilder so schmal machen können, dafs das jeder Farbe angehörige Bild von seinen Nachbarn durch einen dunklen Zwischenraum getrennt ist. So haben wir vorher angenommen, dafs nur rothes und blaues Licht in dem Lichte des Punktes *a Fig. 123* vorkäme, und gesehen, dafs dann bei *b* ein blaues Bild, bei *r* ein rothes erscheint, beide durch den dunklen Zwischenraum *b r* von einander getrennt. Dasselbe ist natürlich der Fall, wenn nicht zwei, sondern zehn oder hundert oder tausend verschiedene Arten einfachen Lichtes in dem Lichte von *a* vorkommen.

Von dieser Art ist die Zusammensetzung des Sonnenlichts. Wenn wir ein möglichst vollkommenes Spectrum des Sonnenlichts herstellen, finden wir es von einer grofser Zahl dunkler Linien getheilt, den Fraunhofer'schen Linien, aus deren Vorhandensein wir schliefsen müssen, dafs gewisse Stufen der Brechbarkeit unter den Strahlen des Sonnenlichts nicht vorkommen. Je vollkommener die Trennung der Farben im Spectrum ist, desto gröfser ist auch die Zahl der dunkeln Linien. Die stärksten von ihnen sind von Fraunhofer und Stokes mit Buchstaben bezeichnet worden, weil sie ein aufserordentlich sicheres und bequemes Mittel abgeben, im Spectrum Strahlen von genau bestimmten Werthen der Schwingungsdauer und Brechbarkeit immer wieder zu finden, und wir werden uns deshalb im Folgenden auch dieser Bezeichnung bedienen, so oft es darauf ankommt, die Art einer Farbe genau zu bestimmen. Auf *Taf. II, Fig. 2* ist das Sonnenspectrum mit seinen dunkeln Linien abgebildet. Da die einzelnen Theile des Spectrums bei Prismen aus verschiedenen Stoffen verschiedenes Längenverhältnifs haben, und wieder ein ganz anderes Verhältnifs in den durch Diffraction erzeugten Spectren, wo die Vertheilung der Farben nur von ihrer Wellenlänge abhängt, so ist die Vertheilung der Farben in einer solchen Zeichnung bis zu einem gewissen Grade willkührlich. In unserer Abbildung ist die Anordnung, wie es für die physiologischen Betrachtungen am wichtigsten schien, nach dem Principe der musikalischen Scale getroffen, so dafs Farben, deren Wellenlängen sich zu einander verhalten wie die zweier um ein halbes Tonintervall verschiedener Töne, überall gleich weit von einander entfernt sind. Mathematisch ausgedrückt, entsprechen also gleiche Distanzen in der Zeichnung
gleichen Unterschieden der Logarithmen der Schwingungsdauer. Die Ziffern 227
auf der einen Seite bezeichnen die Anzahl der halben Tonintervalle, die Buchstaben auf der anderen bezeichnen die Namen der stärkeren dunkeln Linien, wie sie von Fraunhofer und Stokes gewählt worden sind.

Da in der Benennung der verschiedenen Farben einige Unsicherheit herrscht, wollen wir für das vorliegende Werk folgendes darüber festsetzen:

Roth nenne ich die Farbe des weniger brechbaren Endes des Spectrum, welche von der äufsersten Grenze desselben bis etwa zur Linie $C$ keine merkliche Änderung des Farbentons zeigt. Der Repräsentant unter den Farbstoffen ist etwa der Zinnober. Von ihm zu unterscheiden ist das Purpurroth, welches in seinen weifslicheren Abstufungen Rosenroth wird und dem reinen Roth gegenüber bläulich erscheint. Dieser Farbenton, für dessen gesättigteste Abstufung wir den Namen Purpur bewahren wollen, während die röthlicheren Abstufungen desselben Karminroth heifsen mögen, kommt im Spectrum nicht vor, sondern kann nur durch Mischung seiner äufsersten Farben, des Roth und Violett, hervorgebracht werden.[1]

Von der Linie $C$ bis zur Linie $D$ geht das Roth über durch Orange, d. h. Gelbroth mit überwiegendem Roth, in Goldgelb, d. h. Gelbroth mit überwiegendem Gelb. Ersterem entspricht unter den metallischen Farbstoffen etwa die Mennige, letzterem die Bleiglätte (Bleioxyd).

Von $D$ bis zur Linie $b$ hin finden wir sehr schnelle Farbenübergänge. Zunächst folgt ein sehr schmaler Strich reinen Gelbs, welcher etwa dreimal so weit von $E$ als von $D$ absteht. Dann folgt Grüngelb und zwischen $E$ und $b$ reines Grün. Für das reine Gelb und Grün haben wir zwei sehr gute Repräsentanten unter den Malerfarben, nämlich für ersteres das fein niedergeschlagene, hellere chromsaure Bleioxyd (Chromgelb) und für das letztere das arsenigsaure Kupferoxyd (Scheel'sches Grün).

Zwischen $E$ und $F$ geht das Grün durch Blaugrün in Blau über, zwischen $F$ und $G$ folgen verschiedene Töne des Blau. Wegen der verhältnifsmäfsig grossen Breite der blauen Töne in dem durch Brechung erzeugten Spectrum des Sonnenlichts hat Newton hier verschiedene Namen angewendet, englisch: *blue* und *indico*, lateinisch der Reihe nach *thalassinum, cyaneum, coeruleum, indicum*, worauf dann Violett, *violaceum*, folgt. Wir können den Namen Indigblau beibehalten für die nach $G$ hinliegenden zwei Drittheile des Raumes $FG$. Für das weniger brechbare Blau des ersten Drittel von $FG$ hat man bisher meist einfach den Namen Blau angewendet, auch wohl unrichtig Himmelblau, aber die Ähnlichkeit mit dem Himmelblau bekommt dieses Blau in einem Spectrum von bequemer Helligkeit nur durch die gröfsere Lichtstärke, während das Indigblau, dem der Farbenton des blauen Himmels angehört, in einem solchen Spectrum für diesen Vergleich zu dunkel erscheint. Da nun der gemeine Sprachgebrauch den reinen Himmel als den Hauptrepräsentanten des Blau betrachtet, und ihm den Namen des Blau bewahrt, wenn er es mit weniger brechbarem Blau vergleicht und letzteres bei einem solchen Vergleiche als grünlich bezeichnet, so können wir im wissenschaftlichen Sprachgebrauche nicht wohl das letztere einfach als Blau im Gegensatz zum Indigblau bezeichnen, und ich habe deshalb den
228 Namen Cyanblau dafür gewählt mit Rücksicht auf die Bezeichnung *cyaneum* bei Newton für die grünlich blauen Töne des Spectrum. Zur Bezeichnung

---

n [1] In den Schriften von Herrn E. Hering und seinen Anhängern ist unter Roth immer Purpurroth verstanden.

des Farbentons allein würde auch der Namen Wasserblau gut passen, denn grosse Massen sehr reinen Wassers (Genfer See, Gletschereis) zeigen in ihrem Innern in der That diese Farbe. Hat man z. B. längere Zeit in das Wasser des Genfer Sees an einem hellen Tage geblickt, und sieht zum Himmel auf, so erscheint dieser im Contrast violett, oder selbst rosaroth. Da indessen die Farbe der gewöhnlich gesehenen Wassermassen sehr weifslich ist, mit Ausnahme etwa tiefer Eisspalten, so ziehe ich vor, den Namen Wasserblau nur für die weifslichen Abstufungen des Cyanblau anzuwenden. Unter den Farbstoffen entspricht das Berliner Blau (Eisencyanürcyanid) dem Cyanblau, das Ultramarin dem Indigblau.

Jenseits der Linie $G$ bis nach $H$ oder $L$ folgt Violett (Farbe der Veilchen); es ist von manchen Schriftstellern auch Purpur genannt worden. Violett und Purpur bilden den Übergang der Farbentöne von Blau und Roth. Wir wollen, wie gesagt, den Namen Purpur nur auf die röthlicheren Farbentöne dieses Übergangs anwenden, welche im Spectrum nicht vorkommen.

Schliefslich folgt als Ende des Spectrum auf der brechbarsten Seite das Ultraviolett. Dieser Theil von $L$ bis zum Ende bei $R$ kann nur gesehen werden, wenn die bisher beschriebenen helleren Theile des Spectrum sehr sorgfältig abgeblendet sind. Die Anwesenheit von Lichtstrahlen besonderer Art an dieser Stelle lernte man zuerst durch die chemischen Wirkungen derselben kennen, und nannte sie deshalb unsichtbare chemische Strahlen. In Wahrheit sind diese Strahlen aber nicht unsichtbar, wenn sie auch allerdings das Auge verhältnifsmäfsig viel schwächer afficiren, als die Strahlen des mittleren leuchtenden Theils des Spectrum zwischen den Linien $B$ und $H$. Sobald man die letzteren durch geeignete Apparate vollständig entfernt, sind die ultravioletten Strahlen dem Auge ohne Schwierigkeit sichtbar, und zwar bis zum Ende des Sonnenspectrum. Ihre Farbe ist bei geringer Lichtintensität indigblau, bei gröfserer Intensität bläulich grau. Am leichtesten nachgewiesen wird die Anwesenheit dieser Strahlen durch das Phänomen der Fluorescenz. Beleuchtet man nämlich mit ultraviolettem Lichte eine klare Lösung von saurem schwefelsaurem Chinin, so geht von allen Punkten dieser Lösung, welche von dem ultravioletten Lichte getroffen werden, weifs bläuliches Licht nach allen Richtungen aus, welches etwa wie ein leuchtender Nebel erscheint, der die Lösung durchzieht. Untersucht man dies weifs bläuliche Licht mit dem Prisma, so erkennt man, dafs es nicht ultraviolettes Licht ist, sondern gemischtes weifsliches Licht mittlerer Brechbarkeit. Am einfachsten kann man die Erscheinung deshalb so beschreiben: So lange die ultravioletten Strahlen auf die Chininlösung wirken, ist diese selbstleuchtend, und sendet gemischtes weifslich blaues Licht von mittlerer Brechbarkeit aus. Da nun das Auge für Licht der letzteren Art aufserordentlich viel empfindlicher ist, als für ultraviolettes Licht, so nimmt es bei gewissen Graden der Lichtstärke von letzterem nicht das geringste wahr, bis es eine fluorescirende Substanz trifft, und auf dieser wird dann das bisher unsichtbare Licht sichtbar. Zu den Körpern, welche das Phänomen der Fluorescenz in hohem 229

Grade zeigen, gehören aufser dem Chinin noch das mit Uran gefärbte Glas, das Äsculin, Kaliumplatincyanür u. s. w.

Da wir an den fluorescirenden Substanzen keine andere Veränderung bemerken, die Fluorescenz mag noch so oft hervorgerufen werden, da auch keine Wärme dabei zu verschwinden scheint, so müssen wir aus dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft schliefsen, dafs die lebendige Kraft des durch die Fluorescenz erzeugten Lichtes nicht gröfser ist trotz seiner stärkeren Wirkung auf das Auge, als die des einfallenden ultravioletten Lichts. Genaue Untersuchungen über das Verhältnifs der Helligkeit des durch Fluorescenz veränderten und unveränderten ultravioletten Lichts sind noch nicht angestellt. Doch kann man aus gewissen Thatsachen, die später bei Beschreibung der Methoden erwähnt werden sollen, schliefsen, dafs das erstere etwa 1200 mal heller ist als das letztere. Davon, dafs die Helligkeit beider Lichter für das Auge wirklich aufserordentlich verschieden sei, überzeugt man sich auch ohne Messung, wenn man ultraviolettes Licht, welches von allem brechbareren Lichte gehörig gereinigt und in einen Focus vereinigt ist, erst auf einen nicht fluorescirenden Schirm, z. B. weifses Porzellan, und dann auf Chinin fallen läfst. Dafs das Sonnenspectrum, wenigstens nachdem das Sonnenlicht durch die Atmosphäre gegangen ist, wirklich nicht weiter reicht, als das Auge bei geeigneter Abblendung des helleren Lichts ultraviolettes Licht wahrnimmt, folgt daraus, dafs auch, wenn man durch Quarzprismen und Quarzlinsen ein objectives Spectrum auf ein Uranglas oder einen anderen fluorescirenden Körper wirft, das Phänomen der Fluorescenz nur genau ebenso weit auftritt, als das Auge ultraviolettes Licht wahrnehmen kann. Andererseits aber hat Stokes gefunden, dafs das Spectrum des elektrischen Kohlenlichts, durch Quarzapparate auf einen fluorescirenden Schirm geworfen, viel weiter reicht als das Sonnenspectrum. Seine Methode ist also in der That geeignet, auch noch brechbareres Licht sichtbar zu machen, als das Sonnenlicht enthält, und wir müssen daraus schliefsen, dafs das Spectrum des durch die Atmosphäre gegangenen Sonnenlichts wirklich da aufhört, wo das Auge und die fluorescirenden Körper die Grenze anzeigen.
*n* Sehr weit reichendes ultraviolettes Licht zeigen die Funken grofser Inductionsapparate zwischen Cadmiumelektroden. Bei Entladungen, die durch hoch evacuirte Räume gehen, kommen Strahlen vor, die fast alle durchsichtigen festen Körper fluoresciren machen, aber nicht durchgehen.

*229* Auch am anderen Ende des Spectrum gelingt es bei sorgfältiger Abblendung des helleren gewöhnlich sichtbaren Lichts Theile des Spectrum sichtbar zu machen, die für gewöhnlich unsichtbar bleiben. Genügende Abblendung ist hier sehr leicht durch ein rothes Glas, welches man in den Weg der Lichtstrahlen einschiebt, zu erreichen. Oder da die rothen (mit Kupferoxydul gefärbten) Gläser viel Orange durchlassen, kann man nöthigenfalls zu dem rothen Glase noch ein blaues, mit Kobaltoxyd gefärbtes fügen, welches Orange absorbirt, aber das äufserste Roth ungeschwächt durchläfst. Aber es ist wenig, was man am rothen Ende durch eine solche Beobachtungsweise

gewinnt, verglichen mit der grofsen Ausdehnung des ultravioletten Spectrum. *230*
Der Streifen rothen Lichts, welcher jenseits der Linie *A* hinzukommt, hat etwa die Breite des Abstandes *AB*. Der Farbenton des Roth ist bis zum äufsersten Ende hin unverändert, und nähert sich keineswegs dem Purpur.

Am rothen Ende reicht nun aber in der That das Sonnenspectrum weiter, als es vom Auge wahrgenommen wird. Bisher hat man die Anwesenheit solcher überrothen Strahlen nur durch ihre Wärmewirkungen wahrnehmbar machen können, und sie deshalb dunkle Wärmestrahlen genannt. Da sie vom Glase, Wasser und vielen anderen durchsichtigen Substanzen stärker als die leuchtenden Strahlen absorbirt werden, so mufs man Steinsalzprismen und Steinsalzlinsen anwenden, um die ganze Ausdehnung des dunkeln Wärmespectrum kennen zu lernen. Im prismatischen Spectrum ist die Breite des dunkeln Wärmespectrum jedenfalls eine beschränkte, weil nämlich, der Theorie der elastischen Ätherschwingungen gemäfs, bei zunehmender Wellenlänge der Strahlen die Brechung sich einem Minimum nähert, welches nicht überschritten werden kann, und bei welchem die Dispersion der Farben aufhört. In *Fig. 124* sind als horizontale Abscissen die Wellenlängen aufgetragen, und zwar von einem Anfangspunkte an gerechnet, der von *H* ebenso weit entfernt liegt wie der Punkt *b*, aber in der Verlängerung der Linie *bH*. Die Buchstaben *B* bis *H* entsprechen den FRAUNHOFER'schen Linien und ihrer Stellung in einem Interferenzspectrum. Als verticale Coordinaten sind die Brechungsverhältnisse für eines der von FRAUNHOFER benutzten Flintglasprismen aufgetragen.

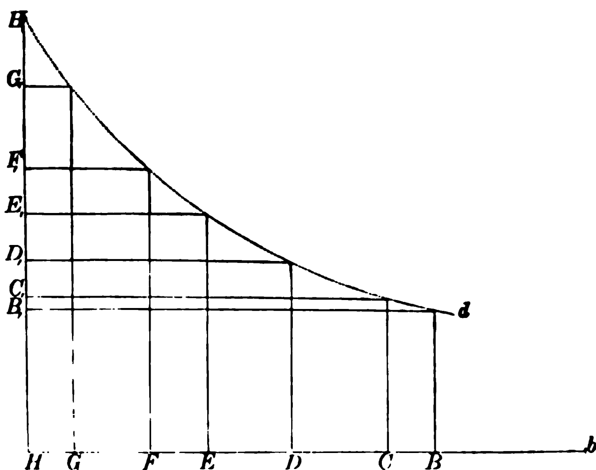



Fig. 124.

| Linie | *B* | *C* | *D* | *E* | *F* | *G* | *H* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Brechungsverhältnifs | 1,6277 | 1,6297 | 1,6350 | 1,6420 | 1,6483 | 1,6603 | 1,6711 |

Die Buchstaben *B*, bis *H*, bezeichnen die Stellung der dunkeln Linien in dem Spectrum dieses Flintglases. Die Grundlinie *Hb* entspricht dem Brechungsverhältnifs 1,6070, welches für diese Glasart das Minimum ist, dem sich bei steigender Wellenlänge die Brechungsverhältnisse asymptotisch nähern müssen[1]. Die punktirte Curve *H,d* drückt also die Brechbarkeit

[1] Der Werth dieses Minimum ist nach der Berechnung von BADEN POWELL (Pogg. XXXVII genommen worden, dessen Interpolationsformel nahe genug mit den theoretisch abgeleiteten Formeln von CAUCHY übereinstimmt

der Strahlen als Function der Wellenlänge aus, sie würde bei weiterer
231 Fortsetzung sich asymptotisch der Grundlinie *Hb* anschliefsen. Daraus
folgt, dafs, wenn wir uns das Brechungsspectrum *H, B,* über sein rothes
Ende bei *B,* fortgesetzt denken durch dunkle Wärmestrahlen, das Spectrum
seine äufserste Grenze an der Grundlinie bei *H* finden mufs[1], welche von
*B,* dem Ende des gewöhnlich sichtbaren Roth, ungefähr so weit absteht,
wie *B* von *F*, der Grenze zwischen Grün und Blau, eine Entfernung, die
ungefähr der Hälfte der Länge des gewöhnlich sichtbaren Spectrum entspricht.
Übrigens fällt es in der *Fig. 124* leicht auf, wie in dem Brechungsspectrum
*B,H,*, wenn man es mit dem Interferenzspectrum *BH* vergleicht, die Strahlen
des blauen Endes *F, G, H,* auseinandergezogen, die des rothen Endes *B, C, D,*
aneinandergedrängt sind. Dieses Zusammendrängen der Strahlen im Brechungsspectrum mufs natürlich zunehmen, je mehr man sich im Raum der dunkeln Wärmestrahlen der Grenze nähert. Am blauen Ende, wo das Spectrum gedehnt ist, wird dabei die Zahl der sichtbaren dunkeln Linien gröfser, und weil die gleiche Quantität Licht oder Wärme über einen gröfseren Raum verbreitet ist, werden Helligkeit und Erwärmung geringer. Umgekehrt am rothen Ende wird die Zahl der sichtbaren dunkeln Linien geringer, Helligkeit und Erwärmung gröfser, als in dem Interferenzspectrum. Wenn also auch das Wärmemaximum im prismatischen Spectrum aufserhalb des Roth liegt, so folgt daraus nicht, dafs die dunkeln Wärmestrahlen der betreffenden Wellenlänge in gröfserer Menge im Sonnenlicht vorhanden seien, als irgend eine Art leuchtender Strahlen; im Gegentheil scheint im Interferenzspectrum das Wärmemaximum auf Gelb zu fallen.

Die Bestimmung der gröfsten Wellenlängen, welche in den dunkeln
Wärmestrahlen des Sonnenlichts vorkommen, ist äufserst schwierig, eben
n wegen der beschriebenen Eigenthümlichkeiten des Brechungsspectrum. Mittels
der von ihm vervollkommneten photographischen Methoden hat ABNEY die
gröfste Wellenlänge gleich 0,0027 mm gefunden. Es ist dies mehr als die
231 dreifache Wellenlänge der äufsersten rothen Strahlen, die nach meinen
Messungen 0,00081 mm beträgt. Es zeigen übrigens diese dunkeln Wärmestrahlen die Erscheinungen der Interferenz, wie die Lichtstrahlen, woraus folgt, dafs sie wie diese in einer schwingenden Bewegung bestehen; sie zeigen genau dieselben Gesetze der Polarisation, woraus folgt, dafs auch in ihnen die Schwingungsrichtung senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung ist, und unterscheiden sich also von den leuchtenden Strahlen nur durch ihre gröfsere Wellenlänge und die damit verbundene geringere Brechbarkeit.

Der Grund für die Unsichtbarkeit der überrothen Strahlen könnte entweder darin zu finden sein, dafs sie von den Augenmedien absorbirt werden, oder dafs die Netzhaut für sie nicht empfindlich ist. Dafs Wasser die dunkeln

---

[1] Diese Grenze scheint nach einer Bemerkung von FR. EISENLOHR in den Versuchen von MELLONI
n wirklich erreicht zu sein. *Kritische Zeitschr. für Chemie.* Erlangen 1858. S. 229. Theoretisch ist eine
solche durchaus zu erwarten, LANGLEY, *Phil. Magaz.* Vol. 21. p. 349 (1886), hat aber bei seinen Beobachtungen über dunkle Strahlen, die viel weiter gehen als alle bisherigen, keine solche Grenze erreicht.

Wärmestrahlen in hohem Maſse absorbirt, hat schon MELLONI nachgewiesen. Mit den durchsichtigen Mitteln des Ochsenauges haben BRÜCKE und KNOBLAUCH Versuche angestellt. Es wurden nämlich Hornhaut, Glaskörper und Linse eines Ochsenauges in eine passende röhrenförmige Fassung so eingeschaltet, daſs Hornhaut und Linse die vordere und hintere Begrenzung 232
bildeten, der Glaskörper zwischen beiden lag. Durch dieses vollkommen durchsichtige System fiel Sonnenlicht, von einem Heliostaten in ein dunkles Zimmer geworfen, auf eine thermoelektrische Säule. Es brachte eine Ablenkung des damit verbundenen Multiplicators von 26 bis 30° hervor. Nachdem aber die beiden Seiten des Auges über einer Terpentinflamme beruſst waren, was vollkommen gut und, wie die nachherige Untersuchung zeigte, ohne alle sonstige Veränderung der Hornhaut und Linse gelang, konnte keine Wärme mehr durch das Auge hindurchstrahlen. Ruſsschichten sind aber für die dunkeln Wärmestrahlen durchgängig, nicht für die leuchtenden. Hätte also ein Theil der durch die Augenmedien gehenden Strahlen aus dunkeln Wärmestrahlen bestanden, so hätte sich von diesen auch noch nach der Berussung eine Wirkung zeigen müssen. Es läſst sich durch diesen Versuch allerdings nicht genau nachweisen, daſs die Grenzen der Sichtbarkeit des Roth mit den Grenzen der Diathermansie der Augenmedien zusammentreffen, aber jedenfalls steht fest, daſs von den unsichtbaren überrothen Strahlen wenig oder nichts mehr zur Netzhaut gelangen kann, und es scheint dieser Umstand zu genügen, um ihre Unsichtbarkeit zu erklären.

CIMA[1] hat ähnliche Versuche angestellt, wobei er als Wärmequelle eine LOCATELLI'sche Lampe benutzte, deren Strahlen durch die Augenmedien auf eine thermoelektrische Säule fielen. Er fand, daſs die Krystallinse 13 Procent, der Glaskörper allein 9 Procent und das ganze Auge auch 9 Procent der einfallenden Wärme durchlieſs. Dasselbe fanden J. JANSSEN[2] und R. FRANZ[3]; die Absorption „
war der des Wassers sehr ähnlich. Hornhaut und Linse schienen etwas stärker zu wirken. Untersuchungen von ENGELMANN[4] haben ein ähnliches Resultat ergeben.

Daſs die übervioletten Strahlen die Augenmedien durchdringen 232
können, folgt direkt schon aus der Möglichkeit das überviolette Spectrum mit seinen dunkeln Linien zu sehen. DONDERS[5] und REES haben objectiv nachgewiesen, daſs diese Strahlen durch Glasgefäſse, welche mit Glasfeuchtigkeit vom Ochsen gefüllt waren, und in die auch Hornhaut und Linse eingebracht wurden, ohne auffallend geschwächt zu werden, hindurchgehen. Um das ultraviolette Licht nach dem Durchgange durch die Augenflüssigkeiten sichtbar zu machen, fingen sie es auf der Fläche einer Chininlösung auf, wo es die blaue Fluorescenz hervorrief. BRÜCKE hatte ähnliche Versuche schon früher angestellt, bei denen er die Wirkung des Lichts auf Guajak-

[1] CIMA, *Sul potere degli umori dell' occhio a trasmettere il calorico raggiante.* Torino 1852.
[2] J. JANSSEN, C. R. LI. 128–131, 373–374; *Ann. de chim.* (3) XL. 71–93.
[3] R. FRANZ in *Poggend. Ann.* CXV. 266–279.
[4] TH. W. ENGELMANN, *Onderz. ged. in het physiol. Laborat. te Utrecht.* (3) Reeks D. VII Bl. 291. 1882.
[5] F. C. DONDERS, *Onderzoekingen gedaan in het physiol. Laborat. te Utrecht.* Jaar VI p. 1. *Müller's Archiv für Physiol.* 1853. S. 459.

lösung und auf photographisches Papier untersuchte, nachdem es durch die Augenmedien gegangen war.

Guajakharz, frisch aus der alkoholischen Lösung durch Eintrocknen im Dunkeln gewonnen, wird von den blauen, violetten und übervioletten Strahlen blau gefärbt, von den schwächer brechbaren wieder entbläut. Im gewöhnlichen Tageslichte überwiegt die Wirkung der bläuenden Strahlen. Tageslicht aber, welches durch die Krystallinse eines Ochsenauges gegangen ist, färbt das Harz nur gelbgrün, und eine schon gebläute Harzschicht wird durch dasselbe Licht wieder bis zu demselben Gelbgrün entbläut. Daraus folgt, dafs die Linse die bläuenden Strahlen des Tageslichts stärker absorbirt, als die nicht bläuenden. Bei starker Absorption der gewöhnlich sichtbaren blauen und violetten Strahlen müfste die Linse selbst gelblich gefärbt er-
233 scheinen. Da sie im normalen Zustande ziemlich ungefärbt erscheint, so können es unter den Guajak bläuenden Strahlen nur die übervioletten sein welche die Linse verhältnifsmäfsig beträchtlich absorbirt. Für die Hornhaut und den Glaskörper ergeben ähnliche Versuche von Brücke, dafs sie eine ähnliche Wirkung wie die Linse, aber in einem viel schwächerem Grade besitzen. Damit stimmt überein, dafs die Hornhaut und Linse des Auges, wie man auch am lebenden Auge leicht sehen kann, selbst einen ziemlichen Grad von Fluorescenz besitzen, wenn violettes oder überviolettes Licht auf sie fällt. Sie strahlen dabei weifsblaues Licht aus, ähnlich dem der Chininlösungen. Fluorescirende Körper aber absorbiren stets merklich die Strahlen, durch welche ihre Fluorescenz erregt wird.

Wenn nun auch die Versuche von Brücke lehren, dafs die ultravioletten Strahlen beim Durchgang durch die Augenmedien, namentlich die Krystalllinse, merklich geschwächt werden, wie namentlich bei der Wirkung auf Guajaktinctur sich zu erkennen giebt: so lehren andererseits doch die Versuche von Donders, dafs diese Schwächung nicht so bedeutend ist, um bei der gewöhnlichen Vergleichung der Helligkeit durch das ununterstützte Auge aufzufallen. Andererseits ist schon oben angeführt worden, dafs die Helligkeit des unveränderten ultravioletten Lichts gegen die des ungefähr gleich aussehenden durch Fluorescenz des Chinin erzeugten Lichts sich etwa wie 1 : 1200 verhält. Daraus schliefsen wir, dafs Absorption des Lichts in den Augenmedien nur zum allerkleinsten Theile Schuld sein kann an der geringen subjectiven Helligkeit des Ultraviolett, dafs diese vielmehr in einer Unempfindlichkeit der Netzhaut ihren Grund haben mufs.

Zu erwähnen ist noch, dafs der Farbeneindruck, welchen einfaches Licht im Auge hervorruft, abhängig ist von der Lichtintensität, in der Weise, dafs alle einfachen Farben bei gesteigerter Helligkeit sich dem Weifs oder Weifsgelb nähern. Am leichtesten geschieht dies mit dem Violett, welches sich desto mehr vom Blau entfernt und dem Purpur nähert, je lichtschwächer es ist, und im Gegentheil bei einem mäfsigen Grade von Helligkeit, wie ihn das Spectrum der Sonne im Fernrohr leicht erreicht, schon weifsgrau erscheint, und nur einen schwachen bläulich violetten

Schein behält. Nach dem Vorschlag von MOSER sieht man dies auch sehr 234
gut, wenn man bei halb bewölktem Himmel sich die Sonne mit einem ziemlich dunkeln violetten Glase bedeckt. Dann erscheint die Sonnenscheibe, durch das Glas gesehen, vollständig ebenso weifs, wie, neben dem Glase vorbei gesehen, die hellbeleuchteten Wolken erscheinen. Ebenso wird das Blau des Spectrum bei geringer Helligkeit mehr indigblau, bei gröfserer himmelblau, und bei noch gröfserer, welche übrigens immer noch ohne Belästigung des Auges zu ertragen ist, weifsblau, endlich weifs. Daher die oben erwähnte fälschliche Anwendung der Benennung Himmelblau für das brechbarere und gleichzeitig lichtstärkere Cyanblau des Spectrum. Das Grün geht durch Gelbgrün in Weifs, Gelb direct in Weifs über, aber erst bei blendender Helligkeit. Roth zeigt die Erscheinung am schwersten, und nur bei den höchsten Graden der Helligkeit habe ich es sowohl im Spectrum, als durch ein rothes Glas nach der Sonne blickend, hellgelb werden sehen. Alle diese Versuche gelingen gleich gut mit sorgfältig gereinigtem einfachen, wie mit gemischtem Lichte von der betreffenden Farbe, wie es durch gefärbte Gläser gegeben wird.

Unter allen Theilen des Spectrum ist der Farbenton des violetten und überviolетten Lichts am veränderlichsten bei veränderter Lichtstärke. Um Farbentöne des brechbarsten Endes mit einander zu vergleichen, mufs man sie nahe auf gleiche Intensität bringen. Bei schwacher Helligkeit nähern sich die blauen Töne des Spectrum mehr dem Indigo, das Violett dem Rosa, wie schon angegeben wurde; etwa von der Linie $L$ ab bis zum Ende des Spectrum findet aber eine Umkehr in der Reihe der Farben statt; der Farbenton wird nämlich nicht weiter dem Rosa ähnlicher, sondern kehrt von hier wieder zum Indigoblau zurück. Bei mäfsiger Steigerung der Lichtstärke dagegen erscheint das überviolette Licht bläulich weifsgrau, weifslicher als gleich starkes indigblaues Licht, und man hat es deshalb auch **lavendelgrau** genannt.

Die Umkehr in der Farbenreihe, welche das überviolette Licht bei geringer Helligkeit zeigt, beruht wahrscheinlich nicht auf der Reactionsweise des Nervenapparats, sondern scheint dadurch bedingt zu sein, dafs die Netzhaut selbst fluorescirt, d. h. unter der Einwirkung überviolетter Strahlen Licht niederer Brechbarkeit, und zwar solches von bläulich oder grünlich weifser Farbe aussendet. Wenigstens die Netzhaut aus dem Auge einer Leiche, welche ich selbst[1] untersuchte, und die Netzhäute aus ganz frischen Augen von eben getödteten Ochsen und Kaninchen, welche SETSCHENOW[2] untersuchte, zeigten einen freilich sehr geringen Grad von Fluorescenz, und das Licht, welches sie dabei aussandten, hatte die angegebene Farbe. Die Stärke ihrer Fluorescenz war geringer, als die von Papier, Leinwand und Elfenbein, aber erschien doch immer noch stark genug, um die Farbe, in der das überviolette Licht empfunden wird, verändern zu können. Ich

[1] H. HELMHOLTZ, *Poggend. Ann.* XCIV. 205.
[2] J. SETSCHENOW, *Graefe's Archiv für Ophthalmologie.* Bd. V. (2) S. 205. 1859.

verglich zu diesem Ende das Licht, was durch Fluorescenz der Netzhaut erzeugt wurde, und sich von den fluorescirenden Stellen dieser Membran nach allen Seiten in den Raum hinein verbreitete, mit ultraviolettem Licht, welches diffus von einem weiſsen Porzellanplättchen reflectirt wurde, also
235 ebenso wie jenes sich nach allen Seiten hin verbreitete. Die Netzhaut und das Porzellanplättchen wurden hierbei durch ein schwach brechendes Prisma angesehen, welches das veränderte von dem unveränderten ultravioletten Lichte schied. Es erschien unter diesen Umständen das durch Fluorescenz in der Netzhaut erzeugte Licht ebenso hell, wie die unveränderte ultraviolette Beleuchtung der Porzellanplatte.

n Nach den Beobachtungen von W. Kühne, die auf S. 266 angeführt sind, fluorescirt das ungebleichte Sehroth nur schwach in weiſsblauer Farbe, das gebleichte Sehweiſs dagegen stärker und grünlich. Die von mir und Setschenow beobachtete Fluorescenz todter Netzhäute ist die des Sehweiſs gewesen. Die der lebenden Membran würde danach in der Farbe dem Lavendelgrau des ultravioletten Spectrum ganz ähnlich sein können, und es wird fraglich, ob wir diesen Theil des Spectrum vielleicht nur sehen, weil in ihm die Netzhaut fluorescirt, und dieses Fluorescenzlicht, was gröſsere Wellenlängen hat, dieselbe reizt. Nicht ausgeschlossen ist allerdings, daſs die ultravioletten Strahlen auch direct erregen. Vor Herrn Kühne's Untersuchungen hatte ich auf eine solche gemischte Erregung der Netzhaut geschlossen, und das Lavendelgrau als Mischung des direct gesehenen Violet und des grünlich weiſsen Fluorescenzlichtes betrachtet.

235 Wenn man ein prismatisches Spectrum von geringer Länge betrachtet, so daſs man das Ganze gleichzeitig vor Augen hat, so erscheint es nur aus vier Farbenstreifen zusammengesetzt: Roth, Grün, Blau und Violet, während durch den Contrast mit diesen Hauptfarben ihre Übergänge fast ganz verschwinden, höchstens erkennt man noch, daſs das Grün an der Seite des Roth gelblich wird. Noch verstärkt wird die Trennung der Farben dadurch, daſs drei von den stärkeren dunkeln Linien des Sonnenspectrum $D$, $F$ und $G$ ungefähr den Grenzen der genannten vier Farben entsprechen. Aber auch, wenn man die Linien nicht erkennen kann, tritt dieselbe Scheidung der Farben ein. Bei längeren Spectris gelingt es zwar eher die Übergangsfarben zu erkennen, indessen wird doch immer der Eindruck im Auge durch die Nachbarschaft von so lebhaften und gesättigten Farben, wie sie das Spectrum zeigt, beträchtlich verändert, so daſs die Übergangsfarben nicht recht ungestört zur Erscheinung kommen. Um die Reihe der einfachen Farben genau kennen zu lernen, muſs man sie isoliren. Zu dem Ende entwirft man ein recht reines objectives Spectrum auf einem Schirme, der einen schmalen Spalt hat, so daſs nur ein schmaler Farbenstreifen des Spectrum durch den Spalt dringen und einen dahinter aufgestellten weiſsen Schirm erleuchten kann. Indem man den Spalt langsam die Länge des Spectrum durchwandern läſst, bekommt man nach einander die Reihe der Farbentöne, die es enthält, einzeln zu Anschauung. Dabei zeigt sich, daſs nirgends ein

**Sprung in der Farbenreihe ist, sondern die Farbentöne continuirlich in einander übergehen.** Es ist dieser Versuch gleichzeitig eines der prachtvollsten Schauspiele, welches die Optik darbietet, wegen des Reichthums, der intensiven Sättigung und der zarten Übergänge der Farbentöne.

Wegen der allmäligen Übergänge ist es auch unmöglich, den einzelnen Farben im Spectrum naturgemäfs eine bestimmte Breite anzuweisen. Um
die Stelle und Vertheilung der Farben, so weit es möglich ist, zu bezeichnen, 236
will ich hier die den FRAUNHOFER'schen Linien entsprechenden Farbentöne hersetzen mit ihren Wellenlängen, letztere ausgedrückt durch Milliontel eines Millimeters:

| Linie. | Wellenläuge. | Farbe. |
|---|---|---|
| *A* | 760,40 | Äufserstes Roth. |
| *B* | 686,853 | Roth. |
| *C* | 656,314 | Grenze des Roth und Orange. |
| *D* | {589,625<br>{589,023 | Goldgelb. |
| *E* | 526,990 | Grün. |
| *F* | 486,164 | Cyanblau. |
| *G* | 430,825 | Grenze des Indigo und Violet. |
| *H* | 396,879 | Grenze des Violet. |
| *L* | 381,96 | Überviolet. |
| *M* | 372,62 | |
| *N* | 358,18 | |
| *O* | 344,10 | |
| *P* | 336,00 | |
| *Q* | 328,63 | |
| *R* | 317,98 | |
| *U* | 294,77 | |

Da der Unterschied der Farbenempfindung im Auge wie der der Tonhöhe im Ohre dem Unterschiede in der Schwingungsdauer der erregenden Licht- oder Tonwellen entspricht, so hat man vielfältig versucht, die Farbenstufen des Spectrum nach demselben Principe abzutheilen, wie es bei den ganzen und halben Tönen in der musikalischen Tonleiter geschieht. NEWTON versuchte es zuerst. Da er aber noch nicht die Abhängigkeit der Breite, welche die einzelnen Farben im prismatischen Spectrum einnehmen, von der Natur der brechenden Substanz kannte, und der damals noch sehr unentwickelten Undulationstheorie des Lichtes abgeneigt war, so theilte er unmittelbar das Spectrum von Glasprismen, so weit er es kannte, ungefähr zwischen den Linien *B* und *H*, in 7 Streifen ein, deren Breite dem Verhältnisse der Intervalle in einer Tonleiter, d. h. den Zahlen $\frac{9}{8}, \frac{16}{15}, \frac{10}{9}, \frac{9}{8},$

$\frac{10}{9}, \frac{16}{15}, \frac{9}{8}$, proportional war, und unterschied, diesen sieben Intervallc sprechend, sieben Hauptfarben, nämlich: Roth, Orange, Gelb, Grün, Indigo, Violet. Dafs in dieser Reihe zwei Arten des Blau genann während Goldgelb, Gelbgrün, Meergrün fehlen, die dem Auge von d nachbarten Hauptfarben mindestens ebenso gut verschieden erscheine
237 Indigo von Cyanblau und Violet, rührt von der auf S. 282 erwähnten thümlichkeit der Brechungsverhältnisse in den durchsichtigen Subs her, vermöge deren in jedem prismatischen Spectrum die brechbareren F töne stärker ausgedehnt werden, als die weniger brechbaren. In den ferenzspectris, wo die Vertheilung der Farben nur von der Welle nicht von der Natur eines brechenden Medium abhängt, ist der blau Raum viel schmaler, und würde bei einer ähnlichen Eintheilung n drei Streifen zerfallen sein, dagegen der Raum des Roth und Orange drei eingenommen hätte.

Wenn wir jetzt mit Hülfe der seitdem gemachten Entdeckunge Messungen das Spectrum eintheilen, indem wir das Eintheilungsprinc musikalischen Tonleiter auf die Schwingungsdauer der Lichtwellen anw wie es in *Taf. II, Fig. 2* geschehen ist, und das Gelb dem Grundt die Linie *A* dem tieferen *G* entsprechend machen, so bekommen v die einzelnen halben Töne folgende Farbenstufen:

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Fis.* | Ende des Roth | *fis.* | Violet |
| *G.* | Roth | *g.* | Überviolet |
| *Gis.* | Roth | *gis.* | Überviolet |
| *A.* | Roth | *a.* | Überviolet |
| *B.* | Rothorange | *b.* | Überviolet |
| *H.* | Orange | *h.* | Ende des Sonnenspectru |
| *c.* | Gelb | | |
| *cis.* | Grün | | |
| *d.* | Grünblau | | |
| *dis.* | Cyanblau | | |
| *e.* | Indigblau | | |
| *f.* | Violet. | | |

Die Töne, welche Octaven bilden, sind nebeneinander gestel *Taf. II Fig. 2* sind rechts die den Tonintervallen entsprechenden durch Linien bezeichnet.

n Nach derselben Berechnungsweise würde die von Herrn Abney dene Grenze des Ultraroth im Sonnenspectrum auf $A_{-2}$, zwei Octaven dem helleren Roth liegen. Herrn Langley's[1] Messungen führen noch viel und machen es überhaupt zweifelhaft, ob eine Grenze des Spectrum für die rothen Strahlen grosser Wellenlänge existirt. Andererseits führen Herrn Co

[1] S. P. Langley, *Researches of Solar Heat. Professional papers of the Signal Service.* Washing — *Sillim. Journ.* Vol. XXVII. March 1884 und Vol. XXXII. August 1886.

[2] Cornu, C. R. 88. p. 1285—1290 (1879).

mit Sonnenlicht ausgeführte Spectralphotographien bis zur Wellenlänge 293,2 dem oben angeführten *h* entsprechend für das äufserste Ultraviolet, was die Atmosphäre noch bis zum Riffelhause bei Zermatt (2570 m hoch) durchdringt. Im elektrischen Kohlenlicht kommen nach seinen Untersuchungen noch Strahlen vor, die schneller schwingen, aber durch die Luft schnell absorbirt werden; solche von 211,84 Wellenlänge schon in 10 m, von 184,21 in 1 m, von 156,58 in 0,1 m verlöschend. Dadurch ist für unsere Beobachtungen im Luftraum die Grenze gezogen.

Danach würde, akustisch berechnet, die äufserste Grenze des elektrischen Kohlenlichts bei *h'*, eine Octave höher als die Grenze des Sonnenspectrum liegen.

Aus der gegebenen Vergleichungstafel der halben Töne und Farbenstufen 237
geht nun hervor, dafs an beiden Grenzen des Spectrum die Farbe sich innerhalb mehrerer halber Tonstufen nicht merklich ändert, in der Mitte dagegen die sehr mannigfaltigen Übergangsfarben des Gelb in Grün alle in die Breite eines einzigen halben Tones zusammengedrängt sind. Daraus folgt, was im folgenden Paragraphen weiter zu besprechen ist, dafs in der Mitte des Spectrum das Auge für die Änderung der Schwingungsdauer des Lichts viel empfindlicher ist, als an den Enden des Spectrum, und dafs die Farbenstufen ihrer Gröfse nach keineswegs in ähnlicher Weise von der Schwingungsdauer abhängen, wie die Abstufungen der Tonhöhe.

Da die vorliegenden physiologischen Untersuchungen eine viel genauere Scheidung des einfachen Lichts von einander nothwendig machen, als es bei physikalischen Untersuchungen im Allgemeinen erfordert wird, will ich hier die Theorie der Brechung in Prismen besprechen, soweit sie für die Herstellung reiner Spectra nöthig ist. Man hatte früher, so viel ich gefunden habe, immer nur die Brechung einzelner Lichtstrahlen in den Prismen untersucht, aber nicht die Lage und Beschaffenheit der prismatischen Bilder, und doch, wenn man mit dem Auge durch ein Prisma sieht, oder das aus dem Prisma tretende Licht durch Linsen und Fernrohre gehen läfst, kommt es wesentlich darauf an, die prismatischen Bilder 238
für jede Art homogenen Lichtes zu kennen, denn sie sind dann als die Objecte für die weiteren optischen Bilder zu betrachten, welche die Augenmedien und Linsen entwerfen.

Diese Lücke habe ich selbst in der ersten Auflage dieses Werkes auszufüllen "
gesucht. Da die betreffende mathematische Untersuchung aber seitdem anderwärts[1] veröffentlicht worden, und rein physikalischer Natur ist, möge es hier genügen, ihre Ergebnisse auseinanderzusetzen.

Bilder entworfen bei parallelen einfallenden Strahlen. Wenn die einfallenden Strahlen untereinander parallel sind, so fallen sie alle unter gleichen Einfallswinkeln und in parallel liegenden Einfallsebenen auf die erste Fläche des Prisma, haben also auch nach der ersten und demzufolge ebenso nach der zweiten Brechung parallele Richtung. Unter diesen Umständen können sie nach der Brechung im Prisma, wie vorher, angesehen werden wie Strahlen, die von einem unendlich entfernten leuchtenden Punkte kommen; sie sind vor wie nach der Brechung homocentrisch, und das durch das Prisma gegangene Bündel kann

[1] H. Helmholtz, *Wissenschaftliche Abhandlungen*. Bd. II. S. 147–182. Leipzig 1883.

also ebenso gut wie das einfallende benutzt werden, um durch Linsen oder Kugelspiegel genaue Bilder des unendlich entfernten leuchtenden Punktes, beziehlich seines ebenfalls unendlich entfernten prismatischen Bildes zu geben.

Bei den neueren Spectralapparaten benutzt man meistens diese Eigenthümlichkeit der parallelen Strahlenbündel vollkommene optische Bilder zu geben, indem man die lichtgebende Linie, sei es nun ein feiner Spalt, durch den äufseres Licht eindringt, oder ein glühender Draht, oder eine mit elektrischem Glimmlicht gefüllte Capillarröhre, in die Brennebene einer achromatischen Convexlinse bringt (Collimatorlinse), in der alle von einem Punkt der Lichtquelle ausgegangenen Strahlen erst durch Brechung parallel gemacht werden, ehe sie auf das Prisma fallen. Um diesen Vortheil aber vollständig zu haben, mufs man darauf achten, dafs die lichtgebende Linie sich genau in der Brennebene der Collimatorlinse befinde.

## I. Bilder unendlich entfernter leuchtender Flächen.

Nur wenn die Flächen verschwindend kleine Ausdehnung haben, sind die prismatischen Bilder derselben ihren Objecten geometrisch ähnlich, da die Ablenkung der Strahlen, welche in verschiedenen Richtungen durch das Prisma gehen, verschieden grofs ist.

Wir wollen eine senkrecht zur brechenden Kante des Prisma gelegte Ebene eine Hauptebene desselben nennen. Die Einfallslothe liegen immer in einer Hauptebene.

A. Ablenkung von Strahlen, die in einer Hauptebene verlaufen. Für die Anwendung ist dies der wichtigste Fall. In *Fig. 125* sei die Ebene der

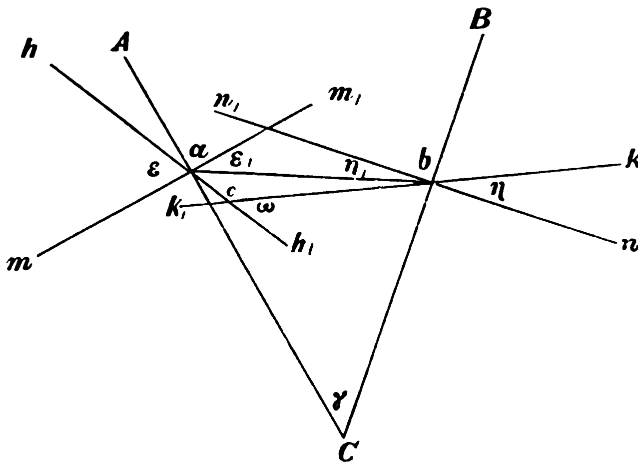



*Fig. 125.*

Zeichnung die betreffende Hauptebene, und die brechende Kante des Prisma senkrecht zu derselben durch den Punkt $C$ gehend gedacht. $AC$ und $BC$ seien die Schnittlinien der beiden brechenden Flächen des Prisma mit der Ebene der Zeichnung; $ha$, $ab$, $bk$ seien Stücke des Strahls, $mm_1$ und $nn_1$ die Einfallslothe in $a$ und $b$. Da nach der Voraussetzung der einfallende Strahl $ha$ senkrecht zu der brechenden Kante sein soll, die Einfallslothe dies ebenfalls sind: so müssen beide ganz in der Ebene der Zeichnung liegen, wenn diese den Einfallspunkt $a$ enthält. Die Ebene

der Zeichnung ist also Einfallsebene, folglich auch Brechungsebene für den Strahl; also liegt auch der dem gebrochenen Punkte angehörige Punkt $b$, wie das zweite Einfallsloth $nn_{,}$ in derselben; folglich auch der zweite gebrochene Strahl $bk$, und da $ha$ und $bk$ in derselben Ebene liegen und nicht parallel sind, müssen sie passend verlängert sich in dieser Ebene schneiden. Der Schnittpunkt sei $c$.

Die Winkel, welche die Strahlen der Reihe nach mit den beiden Einfallslothen verbinden, bezeichne ich mit

$$\angle\, ham = \varepsilon \quad . \quad \angle\, kbn = \eta$$
$$\angle\, bam_{,} = \varepsilon_{,} \quad . \quad \angle\, abn_{,} = \eta_{,}$$

Den brechenden Winkel des Prisma bezeichne ich

$$\angle\, ACB = \gamma.$$

Nun ist, wenn wir mit $R$ einen rechten Winkel bezeichnen,

$$\angle\, abB = \eta_{,} + R$$

und Aufsenwinkel zum Dreieck $bCa$; als solcher ist

$$abB = bCa + Cab, \text{ oder}$$
$$\eta_{,} + R = \gamma + R - \varepsilon_{,},$$

also:

$$\gamma = \eta_{,} + \varepsilon_{,} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1).$$

Dazu kommt, wenn $n$ das Brechungsverhältnifs des Prisma bezeichnet:

$$\left.\begin{array}{l} \sin\varepsilon = n \,.\, \sin\varepsilon_{,} \\ \sin\eta = n \,.\, \sin\eta_{,} \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2).$$

Der Ablenkungswinkel $\omega$ zwischen den beiden Strahlen ist Aufsenwinkel zum Dreieck $abc$, also

$$\omega = \varepsilon - \varepsilon_{,} + \eta - \eta_{,}$$
$$= \varepsilon + \eta - \gamma \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3).$$

Aus der allgemeinen trigonometrischen Formel

$$\sin\varepsilon + \sin\eta = 2 \cdot \sin\frac{\varepsilon + \eta}{2} \cdot \cos\frac{\varepsilon - \eta}{2}$$

ergiebt sich bei Berücksichtigung der Gleichungen 1), 2) und 3)

$$\sin\left(\frac{\omega + \gamma}{2}\right) = n \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \cdot \frac{\cos\left(\frac{\varepsilon_{,} - \eta_{,}}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\varepsilon - \eta}{2}\right)} \quad \ldots \quad 4).$$

Daraus folgt, dafs, wenn der Strahl durch beide Prismenflächen unter gleichen Winkeln geht, also

$$\varepsilon = \eta,$$

wobei auch

$$\varepsilon_{,} = \eta_{,}$$

sein mufs, die Gröfse der Ablenkung sich durch die Gleichung bestimmt

$$\sin\left(\frac{\omega + \gamma}{2}\right) = n \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right), \quad \ldots\ldots \quad 5).$$

welche Gleichung zur Bestimmung des $n$ für die Substanz der Prismen vorzugsweise gebraucht wird.

Wenn dagegen $\varepsilon > \eta$, ist auch nothwendig $\varepsilon_{,} > \eta_{,}$ nach Gleichungen 2). Diese differentirt ergeben dann

$$\cos \varepsilon \cdot d\varepsilon = n \cdot \cos \varepsilon_{,} \cdot d\varepsilon_{,}$$
$$\cos \eta \cdot d\eta = n \cdot \cos \eta_{,} \cdot d\eta_{,}$$

und ebenso folgt aus Gleichung 1), worin $\gamma$ unveränderlich ist:

$$d\eta_{,} = - d\varepsilon_{,}.$$

Dividirt man die ersteren Gleichungen durch einander, so giebt dies

$$\frac{d\eta}{d\varepsilon} = - \frac{\cos \eta_{,} \cdot \cos \varepsilon}{\cos \eta \cdot \cos \varepsilon_{,}}, \quad \ldots \ldots \quad 6).$$

was sich umschreiben läfst nach Gleichungen (2) in:

$$\frac{d\eta}{d\varepsilon} = - \sqrt{\frac{(1 - n^2 \cdot \sin^2 \varepsilon_{,}) \cdot (1 - \sin^2 \eta_{,})}{(1 - n^2 \cdot \sin^2 \eta_{,}) \cdot (1 - \sin^2 \varepsilon_{,})}}$$

$$= - \sqrt{\frac{(1 + n^2 \cdot \sin^2 \varepsilon_{,} \cdot \sin^2 \eta_{,}) - (n^2 \cdot \sin^2 \varepsilon_{,} + \sin^2 \eta_{,})}{(1 + n^2 \cdot \sin^2 \varepsilon_{,} \cdot \sin^2 \eta_{,}) - (\sin_2 \varepsilon_{,} + n^2 \sin^2 \eta_{,})}}.$$

Nun wird $\left(-\frac{d\eta}{d\varepsilon}\right)$ gröfser als 1 sein, wenn in dem letzten Ausdruck unter dem Wurzelzeichen der Zähler gröfser als der Nenner ist, d. h. wenn

$$(n^2 \cdot \sin^2 \varepsilon_{,} + \sin^2 \eta_{,}) < (\sin^2 \varepsilon_{,} + n^2 \sin^2 \eta_{,})$$

oder

$$(n^2 - 1) \cdot \sin^2 \varepsilon_{,} < (n^2 - 1) \cdot \sin \eta_{,}$$

oder

$$\varepsilon_{,} < \eta_{,}.$$

Es ist aber nach Gleichung 3)

$$d\omega = d\varepsilon + d\eta = d\eta \cdot \left(\frac{d\varepsilon}{d\eta} + 1\right)$$
$$= d\varepsilon \cdot \left(1 + \frac{d\eta}{d\varepsilon}\right).$$

Es ist also bei der gemachten Annahme, wonach

$$\eta_{,} > \varepsilon_{,}$$

sein soll, und also auch

$$\eta > \varepsilon,$$

$d\omega$ positiv, wenn der gröfsere Winkel $\eta$ steigt, der kleinere abnimmt, der Strahl sich also immer weiter von der Symmetrielage entfernt. Das Gleiche ist übrigens auch der Fall, wenn $\varepsilon > \eta$, und nun umgekehrt $\varepsilon$ wächst.

Daraus geht hervor, dafs wir in der Symmetrielage ein **Minimum der Ablenkung** $\omega$ haben.

Die **Grenzwinkel für die durchzulassenden Strahlen** werden durch die Grenzen der totalen Reflexion bestimmt. Diese tritt ein, wenn die Gleichungen 2) entweder für $\sin \varepsilon$ oder für $\sin \eta$ einen Werth gröfser als 1 ergeben würden, der dem Sinus eines reellen Winkels nicht zukommen kann. Daraus folgt, dafs der gröfste Werth der Winkel $\varepsilon_{,}$ und $\eta_{,}$, den wir mit $h$ bezeichnen wollen, gegeben wird durch die Gleichung

$$\sin h = \frac{1}{n}.$$

Für Glas vom Brechungsverhältniſs $\frac{3}{2}$ ist $h = 41^{\circ}\ 49'$, für Flintglas mit $n = \frac{5}{3}$ ist es $36^{\circ}\ 52'$.

Da nun nach Gleichung 1)

$$\gamma = \varepsilon_{,} + \eta_{,},$$

so folgt, daſs

$$\gamma < 2h$$

sein muſs, wenn der brechende Winkel überhaupt Licht durchlassen soll. Das giebt für die beiden eben genannten Glasarten die Grenzen $83^{\circ}\ 38'$ und $73^{\circ}\ 44'$ für die gröſsten brechenden Winkel, die überhaupt Licht durchlassen.

Ist der brechende Winkel kleiner als $2\,h$, so sind die Grenzen der durchzulassenden Strahlen dadurch gegeben, daſs einerseits $\varepsilon_{,}$, andrerseits $\eta_{,}$ gleich $h$ werden können. An der einen Grenze ist also

$$\varepsilon_{,} = h \qquad\qquad \varepsilon = R$$

$$\eta_{,} = \gamma - h \text{ und } \sin\eta = n \cdot \sin(\gamma - h).$$

An der andern Grenze vertauschen sich nur die Werthe von $\varepsilon_{,}$ und $\eta_{,}$, sowie von $\varepsilon$ und $\eta$ untereinander. Der Winkel $(\gamma - h)$ kann bei kleinen Werthen des brechenden Winkels $\gamma$ auch negativ werden, d. h. der betreffende Strahl liegt dann im Prisma auf der der brechenden Kante abgekehrten Seite des Einfallslothes, auſserhalb des Prisma auf der zugekehrten Seite.

Die scheinbare Breite des Spalts im prismatischen Bilde für monochromatisches Licht ergiebt sich aus Gleichung 6), wenn wir $d\varepsilon$ als den Werth der scheinbaren Breite des wirklichen Spalts vom Orte des Prisma gesehen nehmen. Dann ist $d\eta$ die entsprechende Gröſse im prismatischen Bilde. Wie wir eben gesehen haben, ist $d\eta > d\varepsilon$, wenn $\eta > \varepsilon$. Schmalere Spaltbilder bekommen wir also für ein gröſseres $\varepsilon$, kleineres $\eta$, d. h. wenn wir in die uns zugekehrte Seite des Prisma senkrechter hineinsehen, als dem Minimum der Ablenkung entspricht.

Gröſse der Zerstreuung für Licht von verschiedener Brechbarkeit. Wenn die einfallenden Strahlen aus fester Richtung kommen, der Winkel $\varepsilon$ für sie also nicht variirt, so ändert sich doch $\eta$ mit dem Brechungsverhältniſs $n$. Die Gröſse

$$d\eta = \frac{d\eta}{dn} \cdot dn$$

giebt dann die scheinbare Breite des Farbenstreifens im Spectrum, der dem Intervall des Brechungsverhältnisses $d\eta$ entspricht.

Um den Differentialquotienten $\frac{d\eta}{dn}$ zu bilden, können wir die Gleichungen 2) und 1) differentiiren, indem wir $\varepsilon$ und $\gamma$ als unveränderlich betrachten. Dies giebt:

$$0 = dn \cdot \sin\varepsilon_{,} + n \cdot \cos\varepsilon_{,} \cdot d\varepsilon_{,}$$

$$\cos\eta \cdot d\eta = dn \cdot \sin\eta_{,} + n \cdot \cos\eta_{,} \cdot d\eta_{,}$$

$$d\varepsilon_{,} + d\eta_{,} = 0.$$

Multipliciren wir die erste der drei Gleichungen mit $\cos\eta_{,}$, die zweite mit $\cos\varepsilon_{,}$

Wenn dagegen $\varepsilon > \eta$, ist auch nothwendig $\varepsilon_{,} > \eta_{,}$ nach Gleichungen 2
Diese differentirt ergeben dann

$$\cos\varepsilon \cdot d\varepsilon = n \cdot \cos\varepsilon_{,} \cdot d\varepsilon_{,}$$

$$\cos\eta \cdot d\eta = n \cdot \cos\eta_{,} \cdot d\eta_{,}$$

und ebenso folgt aus Gleichung 1), worin $\gamma$ unveränderlich ist:

$$d\eta_{,} = -d\varepsilon_{,}.$$

Dividirt man die ersteren Gleichungen durch einander, so giebt dies

$$\frac{d\eta}{d\varepsilon} = -\frac{\cos\eta_{,} \cdot \cos\varepsilon}{\cos\eta \cdot \cos\varepsilon_{,}}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6$$

was sich umschreiben läfst nach Gleichungen (2) in:

$$\frac{d\eta}{d\varepsilon} = -\sqrt{\frac{(1 - n^2 \cdot \sin^2\varepsilon_{,}) \cdot (1 - \sin^2\eta_{,})}{(1 - n^2 \cdot \sin^2\eta_{,}) \cdot (1 - \sin^2\varepsilon_{,})}}$$

$$= -\sqrt{\frac{(1 + n^2 \cdot \sin^2\varepsilon_{,} \cdot \sin^2\eta_{,}) - (n^2 \cdot \sin^2\varepsilon_{,} + \sin^2\eta_{,})}{(1 + n^2 \cdot \sin^2\varepsilon_{,} \cdot \sin^2\eta_{,}) - (\sin_2\varepsilon_{,} + n^2 \sin^2\eta_{,})}}.$$

Nun wird $\left(-\frac{d\eta}{d\varepsilon}\right)$ gröfser als 1 sein, wenn in dem letzten Ausdruck unt
dem Wurzelzeichen der Zähler gröfser als der Nenner ist, d. h. wenn

$$(n^2 \cdot \sin^2\varepsilon_{,} + \sin^2\eta_{,}) < (\sin^2\varepsilon_{,} + n^2 \sin^2\eta_{,})$$

oder

$$(n^2 - 1) \cdot \sin^2\varepsilon_{,} < (n^2 - 1) \cdot \sin\eta_{,}$$

oder

$$\varepsilon_{,} < \eta_{,}.$$

Es ist aber nach Gleichung 3)

$$d\omega = d\varepsilon + d\eta = d\eta \cdot \left(\frac{d\varepsilon}{d\eta} + 1\right)$$

$$= d\varepsilon \cdot \left(1 + \frac{d\eta}{d\varepsilon}\right).$$

Es ist also bei der gemachten Annahme, wonach

$$\eta_{,} > \varepsilon_{,}$$

sein soll, und also auch

$$\eta > \varepsilon,$$

$d\omega$ positiv, wenn der gröfsere Winkel $\eta$ steigt, der kleinere abnimmt, der Stra
sich also immer weiter von der Symmetrielage entfernt. Das Gleiche ist übrige
auch der Fall, wenn $\varepsilon > \eta$, und nun umgekehrt $\varepsilon$ wächst.

Daraus geht hervor, dafs wir in der Symmetrielage ein Minimum der Al
lenkung $\omega$ haben.

Die Grenzwinkel für die durchzulassenden Strahlen werden dur
die Grenzen der totalen Reflexion bestimmt. Diese tritt ein, wenn die Gleichung
2) entweder für $\sin\varepsilon$ oder für $\sin\eta$ einen Werth gröfser als 1 ergeb
würden, der dem Sinus eines reellen Winkels nicht zukommen kann. Daraus folg
dafs der gröfste Werth der Winkel $\varepsilon_{,}$ und $\eta_{,}$, den wir mit $h$ bezeichnen wolle
gegeben wird durch die Gleichung

$$\sin h = \frac{1}{n}.$$

Für Glas vom Brechungsverhältnifs $\frac{3}{2}$ ist $h = 41° \ 49'$, für Flintglas mit $n = \frac{5}{3}$ ist es $36° \ 52'$.

Da nun nach Gleichung 1)

$$\gamma = \varepsilon_, + \eta_,,$$

so folgt, dafs

$$\gamma < 2h$$

sein mufs, wenn der brechende Winkel überhaupt Licht durchlassen soll. Das giebt für die beiden eben genannten Glasarten die Grenzen $83° \ 38'$ und $73° \ 44'$ für die gröfsten brechenden Winkel, die überhaupt Licht durchlassen.

Ist der brechende Winkel kleiner als $2\,h$, so sind die Grenzen der durchzulassenden Strahlen dadurch gegeben, dafs einerseits $\varepsilon_,$, andrerseits $\eta_,$ gleich $h$ werden können. An der einen Grenze ist also

$$\varepsilon_, = h \qquad \varepsilon = R$$
$$\eta_, = \gamma - h \text{ und } \sin \eta = n \cdot \sin (\gamma - h).$$

An der andern Grenze vertauschen sich nur die Werthe von $\varepsilon_,$ und $\eta_,$, sowie von $\varepsilon$ und $\eta$ untereinander. Der Winkel $(\gamma - h)$ kann bei kleinen Werthen des brechenden Winkels $\gamma$ auch negativ werden, d. h. der betreffende Strahl liegt dann im Prisma auf der der brechenden Kante abgekehrten Seite des Einfallslothes, aufserhalb des Prisma auf der zugekehrten Seite.

Die scheinbare Breite des Spalts im prismatischen Bilde für monochromatisches Licht ergiebt sich aus Gleichung 6), wenn wir $d\varepsilon$ als den Werth der scheinbaren Breite des wirklichen Spalts vom Orte des Prisma gesehen nehmen. Dann ist $d\eta$ die entsprechende Gröfse im prismatischen Bilde. Wie wir eben gesehen haben, ist $d\eta > d\varepsilon$, wenn $\eta > \varepsilon$. Schmalere Spaltbilder bekommen wir also für ein gröfseres $\varepsilon$, kleineres $\eta$, d. h. wenn wir in die uns zugekehrte Seite des Prisma senkrechter hineinsehen, als dem Minimum der Ablenkung entspricht.

Gröfse der Zerstreuung für Licht von verschiedener Brechbarkeit. Wenn die einfallenden Strahlen aus fester Richtung kommen, der Winkel $\varepsilon$ für sie also nicht variirt, so ändert sich doch $\eta$ mit dem Brechungsverhältnifs $n$. Die Gröfse

$$d\eta = \frac{d\eta}{dn} \cdot dn$$

giebt dann die scheinbare Breite des Farbenstreifens im Spectrum, der dem Intervall des Brechungsverhältnisses $d\eta$ entspricht.

Um den Differentialquotienten $\frac{d\eta}{dn}$ zu bilden, können wir die Gleichungen 2) und 1) differentiiren, indem wir $\varepsilon$ und $\gamma$ als unveränderlich betrachten. Dies giebt:

$$0 = dn \cdot \sin \varepsilon_, + n \cdot \cos \varepsilon_, \cdot d\varepsilon_,$$
$$\cos \eta \cdot d\eta = dn \cdot \sin \eta_, + n \cdot \cos \eta_, \cdot d\eta_,$$
$$d\varepsilon_, + d\eta_, = 0.$$

Multipliciren wir die erste der drei Gleichungen mit $\cos \eta_,$, die zweite mit $\cos \varepsilon_,$

und addiren mit Berücksichtigung der dritten, so giebt dies

$$\cos \eta \cdot \cos \varepsilon_{,} \cdot d\eta = dn \cdot \sin \gamma$$

$$\frac{d\eta}{dn} = \frac{\sin \gamma \cdot}{\cos \eta \cdot \cos \varepsilon_{,}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 7).$$

Das Product der beiden Cosinus im Nenner dieses Ausdrucks ist veränderlich, wenn man das Prisma dreht. An der einen Grenze, wo der austretende Strahl streifenden Austritt hat, ist $\cos \eta = 0$, also $\frac{d\eta}{dn} = \infty$. An der andern Grenze ist dagegen $\varepsilon_{,} = h$ und

$$\cos \eta = \sqrt{1 - n^2 \cdot \sin^2 (\gamma - h)};$$

also

$$\frac{d\eta}{dn} = \frac{\sin \gamma}{\cos h \cdot \sqrt{1 - n^2 \cdot \sin^2 (\gamma - h)}}.$$

Zwischen beiden giebt es aber noch ein Minimum des Werthes dieser Gröfse, welche einem Maximum von $(\cos \varepsilon_{,} \cdot \cos \eta)$ entspricht. Die genaue Richtung dieses Minimum wird durch eine Gleichung dritten Grades gegeben. Es liegt zwischen dem streifenden Austritt und der Richtung der kleinsten Ablenkung des Strahls.

Reinheit des Spectrum. Diese wird, so weit sie von dem regelmäfsig gebrochenen Lichte abhängt, bedingt sein durch das Verhältnifs zwischen der Breite der Farbenstreifen und der scheinbaren Breite des Spalts im prismatischen Bilde. Erstere, die wir mit $P$ bezeichnen wollen, ist gegeben durch das $\frac{d\eta}{dn}$ der Gleichung 7), letztere durch das $\frac{d\eta}{d\varepsilon}$ der Gleichung 6),

$$P = \frac{\frac{d\eta}{dn}}{\frac{d\eta}{d\varepsilon}} = \frac{\sin \gamma}{\cos \eta_{,} \cdot \cos \varepsilon} \quad \ldots\ldots \quad 8).$$

Die Form dieses Ausdrucks ist ganz dieselbe, wie in Gleichung 7), nur dafs die Winkel für die beiden Seiten des Prisma mit einander vertauscht sind. Die Reinheit wird also am gröfsten bei streifender Incidenz der einfallenden Strahlen vom dickeren Ende des Prisma her, wo der Spalt sehr schmal erscheint. Ein Minimum der Reinheit tritt zwischen dieser Richtung und der der kleinsten Ablenkung ein; dann wächst die Reinheit wieder ein wenig, wenn der Austrittswinkel sich der streifenden Incidenz nähert.

Die streifenden Incidenzen schwächen aber das Licht sehr durch starke Reflexion und erfordern grofse Genauigkeit der ebenen Flächen, so dafs sie deshalb praktisch wenig zu empfehlen sind. Die Lage der kleinsten Ablenkung hat unter anderen Vorzügen den, dafs der Lichtverlust der geringste ist.

B. Brechung von Strahlen, welche in einer zur brechende Kante parallelen Ebene sich ausbreiten. Gerade Linien, welche der brechenden Kante parallel sind, wie es bei den als Lichtquelle dienenden Spalten und glühenden Drähten gewöhnlich der Fall ist, erscheinen gekrümmt, an ihren Enden stärker

abgelenkt, als in derjenigen Stelle, die in einer durch das Auge des Beobachters gelegten Hauptebene liegt.

Die Einfallsebene und die Hauptebene, welche zu jedem der beiden Einfallspunkte des durchgehenden Strahls gehören, schneiden sich im Einfallsloth, das in dem betreffenden Einfallspunkte errichtet ist. Bezeichnen wir nun wie bisher mit $\varepsilon$ und $\varepsilon_,$ den Einfalls- und Brechungswinkel, mit $\delta$ und $\delta_,$ die Projectionen dieser Winkel auf die Hauptebene, und mit $\varphi$ den Winkel zwischen der Einfallsebene und der Hauptebene, so ist nach einem bekannten Satze der sphärischen Trigonometrie

$$\begin{aligned} tang\,\delta &= cos\,\varphi \cdot tang\,\varepsilon \\ tang\,\delta_, &= cos\,\varphi \cdot tang\,\varepsilon_,. \end{aligned}$$

Das Brechungsgesetz aber ergiebt:

$$sin\,\varepsilon = n \cdot sin\,\varepsilon_,.$$

Ersetzt man hierin die Sinus durch die Tangenten, und erhebt auf das Quadrat, so giebt dies:

$$\frac{tang^2\,\varepsilon}{1 + tang^2\,\varepsilon_,} = n^2 \cdot \frac{tang^2\,\varepsilon_,}{1 + tang^2\,\varepsilon_,},$$

als eine andere Form des Brechungsgesetzes. Ersetzt man hierin $\varepsilon$ und $\varepsilon_,$ durch ihre Projectionen auf eine Hauptebene, so ergiebt sich

$$\frac{tang^2\,\delta}{cos^2\,\varphi + tang^2\,\delta} = n^2 \cdot \frac{tang^2\,\delta_,}{cos^2\,\varphi + tang^2\,\delta_,}$$

oder

$$\left.\begin{aligned} tang^2\,\delta &= \frac{n^2 \cdot tang^2\,\delta_, \cdot cos^2\,\varphi}{cos^2\,\varphi - (n^2 - 1) \cdot tang^2\,\delta_,} \\ tang^2\,\delta_, &= \frac{tang^2\,\delta \cdot cos^2\,\varphi}{n^2 \cdot cos^2\,\varphi + (n^2 - 1) \cdot tang^2\,\delta}, \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad 9)$$

so dafs jeder dieser Winkel aus dem andern gefunden werden kann.

Wenn wir die beiden Winkel $\eta$ und $\eta_,$ ebenso auf dieselbe Hauptebene projicirt denken, und ihre Projectionen $\zeta$ und $\zeta_,$ nennen, den Winkel zwischen den Ebenen der beiden Winkel dagegen $\psi$, so erhalten wir entsprechende Gleichungen, wie 9) auch für $\zeta$ und $\zeta_,$, also mit kleiner Änderung der Schreibweise:

$$tang^2\,\zeta = \frac{n^2 \cdot tang^2\,\zeta_,}{1 - \frac{n^2 - 1}{cos^2\,\psi} \cdot tang^2\,\zeta_,} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 9a).$$

Wieder haben wir für den brechenden Winkel des Prisma

$$\gamma = \delta_, + \zeta_, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 10)$$

und wenn wir mit $O$ die Projection des Ablenkungswinkels $\omega$ auf die Hauptebene bezeichnen

$$O + \gamma = \delta + \zeta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 10a),$$

Die Winkel $\psi$ und $\varphi$ sind miteinander verbunden durch die Gleichung

$$\frac{cos^2\,\varphi}{cos^2\,\varphi \cdot cos^2\,\delta_, + sin^2\,\gamma_,} = \frac{cos^2\,\psi}{cos^2\,\psi \cdot cos\,\zeta_, + sin^2\,\zeta_,}, \quad . \quad 10b)$$

welche sich ergiebt, wenn man durch den Strahl im Prisma und seine Projection

auf die Hauptschnitte eine Ebene legt, die demzufolge der brechenden K parallel sein mufs, und berücksichtigt, dafs die in dieser Ebene liegenden Wi zwischen dem Strahl und seinen beiden Projectionen gleich sein müssen.

Die in Gleichung 9a) gegebene Form läfst am leichtesten erkennen, wenn der Winkel $\varphi$ oder $\psi$ wächst, sein Cosinus also abnimmt, auch der Ne des Bruchs kleiner und *tang* $\varphi$ oder *tang* $\zeta$ gröfser wird. Die Brechung in Projectionen des Strahls ist also stärker, je mehr die Einfallsebene von der Ha ebene abweicht. Da dies bei beiden Brechungen im Prisma stattfindet, mufs die Gesammtablenkung der Projection von Strahlen, die geneigt zur Hauptel durchgehen, stärker sein, als für solche, die in der Hauptebene verlaufen und blei

Gleichung 10b) ergiebt, dafs auch die Gröfsen $\cos\varphi$ und $\cos\psi$ nur gleichz zu- und abnehmen können.

Wegen der hieraus resultirenden Krümmung prismatischer Bilder von le tenden Linien, dürfen letztere keine grofse Länge haben, wenn man genaue Spec haben will und die brechende Kante des Prisma mufs senkrecht gegen die Gesic linie des Beobachters und parallel dem Spalt sein.

## II. Bilder näherer Punkte für Strahlen in der Hauptebene.

In *Fig. 126* sei $ab$ ein auf die Grenzfläche zweier durchsichtiger Me fallender Strahl, $ab_{,}$ ein zweiter ihm sehr nahe benachbarter von demselben le tenden Punkte $a$ ausgehender in derselben fallsebene gelegen. Das von $b$ auf $ab_{,}$ gef Loth treffe den letzteren Strahl in $d$. Loth macht mit der Ebene $cb_{,}$ dense Winkel, wie die zu beiden normalen Linie und $ac$, also ist

$$bd = bb_{,} \cdot \cos\alpha.$$

Wenn wir $bb_{,} = dx$ und den sehr kle Winkel $b_{,}ab$ mit $d\alpha$ bezeichnen, können diese Gleichung schreiben

$$r \cdot d\alpha = dx \cdot \cos\alpha.$$

Sind nun $b_{,}f_{,}$ und $bf$ die gebrochenen Stra die sich rückwärts verlängert schneiden müs da sie beide in der Ebene der Zeichnung ( fallsebene) liegen, und ist $e$ deren Sch punkt, $eb = r_{,}$ so besteht die entsprech Beziehung zwischen diesen

$$r_{,} \cdot d\beta = dx \cdot \cos\beta.$$

Daraus folgt:

$$\frac{r_{,}}{r} = \frac{\cos\beta}{\cos\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{d\beta}.$$

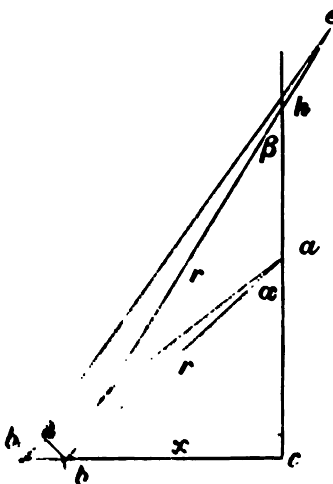



Fig. 126.

Nach dem Brechungsgesetz ist

$$\sin\alpha = n \cdot \sin\beta,$$

also wenn wir $\alpha$ und $\beta$ ändern:

$$\cos\alpha \cdot d\alpha = n \cdot \cos\beta \cdot d\beta.$$

Dies in die obige Gleichung gesetzt, giebt

$$\frac{r_{,}}{r} = \frac{n \cdot cos^2 \beta}{cos^2 \alpha} \quad \text{. . . . . . . . . . . . . 11).}$$

Wenn $b_{,}$ die Kante eines Prisma ist, und an der zweiten Fläche desselben der Einfallswinkel im Glase $\beta_{,}$ ist, aufserhalb desselben $\alpha_{,}$, wenn ferner $r_2$ die Entfernung des scheinbaren Convergenzpunktes der Strahlen nach der zweiten Brechung anzeigt, so ist hierfür entsprechend

$$\frac{r_{,}}{r_2} = \frac{n \cdot cos^2 \beta_{,}}{cos^2 \alpha_{,}} \quad \text{. . . . . . . . . . 11a).}$$

Also aus 11) und 11a)

$$\frac{r_2}{r} = \frac{cos^2 \alpha_{,} \cdot cos^2 \beta}{cos^2 \alpha \cdot cos^2 \beta_{,}} \quad \text{. . . . . . . . . 11b).}$$

Es ist dies dieselbe Gröfse, die oben in Gleichung 6) schon vorgekommen ist als Werth von $\left(\frac{d\alpha}{d\beta}\right)^2$, und es lassen sich dieselben Betrachtungen anwenden, um den Gang dieser Function darzustellen.

Im Minimum der Ablenkung ist $\alpha = \beta$, $\alpha_{,} = \beta_{,}$, folglich auch $r_2 = r$. Wenn $\alpha_{,} < \alpha$ ist $r_2 > r$, umgekehrt $r_2 < r$, wenn $\alpha_{,} > \alpha$. Man merkt dies sehr deutlich bei der Einstellung des Fernrohrs auf die FRAUNHOFER'schen Linien eines endlich entfernten Spaltes.

### IIa. Astigmatismus der Bilder näherer Lichtpunkte.

Wenn man sich *Fig. 126* um das vom leuchtenden Punkte $a$ auf die brechende Fläche gefällte Loth $ac$ als Axe gedreht denkt, so ändert die brechende Fläche ihre Lage nicht, indem sie sich in sich selbst verschiebt; der Einfallspunkt des Strahls $ab$ aber verschiebt sich in der brechenden Fläche senkrecht zur Linie $cb$, während wir ihn in II. sich in Richtung dieser Linie selbst verschieben liefsen; $bf$ bleibt der zu $ab$ gehörige gebrochene Strahl, und wenn $h$ der Punkt ist, wo derselbe die Axe $ac$ schneidet, so bleibt auch dieser Schnittpunkt bei der Drehung unverändert. Während also $a$ der Ausgangspunkt aller in der Entfernung $cb$ einfallenden Strahlen ist, ist $h$ der Schnittpunkt der zugehörigen gebrochenen Strahlen. Bezeichnen wir $bh = r_3$, so ist

$$sin\ \alpha = \frac{x}{r}$$

$$sin\ \beta = \frac{x}{r_3},$$

also nach dem Brechungsgesetz

$$\frac{x}{r} = n \cdot \frac{x}{r_3}$$

oder

$$r_3 = n \cdot r.$$

Bezeichnet man mit $r_4$ den Abstand des Convergenzpunktes der betreffenden Strahlen nach der Brechung an der zweiten Prismenfläche, indem wir wieder die brechende Kante senkrecht zur Ebene der Zeichnung durch $b$ gehend annehmen,

so wird für ein schmales Strahlenbündel der angegebenen Art wieder

$$r_3 = n \cdot r_4,$$

folglich

$$r_4 = r \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 12).$$

Dies gilt also für schmale Strahlenbündel, die in Ebenen senkrecht zur Einfallsebene divergiren, wenn die mittlere Einfallsebene gleichzeitig Hauptebene ist. Für die in der Hauptebene divergirenden Strahlenbündel dagegen gelten die Gleichungen des Abschnitts II. Diese zeigen, daſs $r_2 = r$ nur im Minimum der Ablenkung wird. In diesem Falle ist ein durch das Prisma gegangenes homocentrisches Strahlenbündel auch nach der Brechung homocentrisch; in andern Fällen astigmatisch.

Im Allgemeinen ist es für die Reinheit der Farbenstreifen und die Schärfe der FRAUNHOFER'schen Linien nicht erforderlich, daſs die gebrochenen Strahlen homocentrisch seien. Nur ist zu bemerken, daſs man bei astigmatischen Strahlen die Einstellung des Fernrohrs nicht gleichzeitig für die FRAUNHOFER'schen Linien und für die Ränder des Spectrum, die den Enden des Spalts entsprechen, oder für ZANTEDESCHI's Linien, die quer durch die Farbenstreifen ziehen und von kleinen Ungleichheiten des Spalts herrühren, genau machen kann.

260 Was die **Helligkeit** des Spectrum betrifft, so verhält sich die Helligkeit $h$ des Spaltes, die er für irgend eine einzelne homogene Farbe hat, zu der seines Bildes umgekehrt wie seine Breite $d\varepsilon$ zu der des Bildes $d\eta$, wenn man übrigens von den Verlusten absieht, die das Licht durch Reflexion an den Glasflächen erleidet, und wenn die Apertur des Prisma gröſser als die Pupille ist, oder beim Gebrauch eines Fernrohrs gröſser als das Objectivglas. Also

$$h \cdot d\varepsilon = h_1 \cdot d\eta$$

oder mit Benutzung des früher gefundenen Verhältnisses von $d\varepsilon$ und $d\eta$

$$h_1 = h \cdot \frac{\cos\eta \cdot \cos\varepsilon_1}{\cos\varepsilon \cdot \cos\eta_1}.$$

Nun ist die Helligkeit $H$ irgend einer Stelle des Spectrum aber gleich der Summe der Helligkeiten $h_1$ aller einzelnen homogenen Farben, welche sich dort decken. Im Allgemeinen können wir annehmen, daſs einfache Farben von sehr kleinem Unterschiede der Wellenlänge $\lambda$ nahehin dieselbe Helligkeit haben. Bezeichnen wir also mit $d\lambda$ und $dn$ dies Intervall der Wellenlänge und Brechbarkeit, innerhalb deren die sich deckenden Farben liegen, so können wir setzen

$$H = h_1 \cdot d\lambda = h_1 \cdot \frac{d\lambda}{dn} \cdot dn,$$

woraus mit Berücksichtigung des in 7) gefundenen Werthes von $dn$ folgt:

$$H = h \cdot \frac{\cos\eta \cdot \cos\varepsilon_1}{\sin\gamma} \cdot d\varepsilon \cdot \frac{d\lambda}{dn},$$

wo $d\varepsilon$ die scheinbare Breite des Spaltes bezeichnet. Um die Bedeutung dieses Ausdruckes von $H$ zu verstehen, bemerken wir noch, daſs, wenn wir unter Voraussetzung einer geometrischen Lichtlinie statt des Spaltes den Gesichtswinkel $d\eta$ bestimmen, unter welchem die innerhalb des Intervalls $dn$ vorkommenden Farben in dem ideell reinen Spectrum erscheinen, sich das Verhältniſs $\frac{d\eta}{d\lambda}$, dessen Werth

r mit $l$ bezeichnen wollen, durch eine ähnliche Differentiation wie vorher findet

$$\frac{d\eta}{dn} = \frac{d\eta}{d\lambda} \cdot \frac{d\lambda}{dn} = l \cdot \frac{d\lambda}{dn} = \frac{\sin\gamma}{\cos\eta \cdot \cos\varepsilon_1}.$$

ınn wird

$$H = \frac{h \cdot d\varepsilon}{l}.$$

bgesehen also von dem Verluste durch Reflexion und Absorption, ist die Hel- gkeit des Spectrum, unabhängig von der Brechkraft des Prisma und den rechungswinkeln, direct proportional der Helligkeit der betreffenden 'arben im Spectrum, der scheinbaren Breite des Spaltes und um- :ekehrt proportional der scheinbaren Länge des betreffenden Theils les Spectrum.

Wenn die Brechung im Minimum der Ablenkung geschieht, ist die scheinbare 261 reite des Spaltes der seines Bildes gleich, und man kann $\frac{l}{d\varepsilon}$ als Mafs der Rein- eit des Spectrum betrachten. Dann ist also die Helligkeit des Spectrum ›ei gleichbleibender Helligkeit des durch den Spalt dringenden ‚ichts einfach umgekehrt proportional seiner Reinheit. Daraus folgt lso, dafs zur Erreichung der gröfsten Reinheit auch das intensivste Licht öthig ist.

Dagegen würde es theoretisch möglich sein, etwas gröfsere Helligkeit bei eicher Reinheit des Spectrum zu gewinnen, wenn man den Einfallswinkel an der sten brechenden Fläche vergröfsert, und den Spalt breiter macht; um aber die inge des Spectrum constant zu erhalten, müfste man auch noch den brechenden inkel vergröfsern. Indessen läfst sich praktisch dadurch nichts gewinnen, weil r Lichtverlust durch Reflexion immer gröfser wird, und die kleinen Abweichungen r brechenden Flächen von einer vollkommenen Ebene das Bild desto mehr ver- rren, je gröfser der Einfallswinkel ist.

Bisher ist der Gebrauch des Prisma ohne Vergröfserungsgläser vorausgesetzt ›rden. Das prismatische Spectrum kann nun aber auch wie jedes andere optische ıd als Object für ein Fernrohr gebraucht und beliebig vergröfsert werden. Da- wird die Reinheit des Spectrum natürlich nicht verändert, und wenn das Fern- ır eine hinreichend grofse Apertur hat, um die gesehenen Gegenstände in ihrer ürlichen Helligkeit zu zeigen, und die Apertur des Prisma dieser gleichkommt, ist auch die Helligkeit des vergröfserten Bildes unverändert. Auch bleiben die dem Vorausgehenden hingestellten Regeln über Helligkeit und Reinheit des ›ctrum unverändert, wenn man unter $d\varepsilon$ die scheinbare Gröfse des Spaltes, :er $d\eta$ die seines Bildes, unter $l$ die Länge des bestimmten Theils des Spectrum steht, wie sie durch das Fernrohr erscheinen. Aus der für die Helligkeit hin- ‚tellten Bedingung ergiebt sich übrigens, warum für Versuche ohne Fernrohr ız kleine Prismen ausreichen, während man für Fernrohrversuche desto gröfsere ›en mufs, je stärker die Vergröfserung.

Um ein Spectrum herzustellen, läfst man Licht durch einen engen Spalt auf ein sma fallen, das hindurchgegangene Licht kann man entweder direct in das Auge oder Fernrohr fallen lassen, oder es durch eine Linse zu einem objectiven Bilde des ›ctrum condensiren.

Als Lichtquelle kann man jeden leuchtenden Körper benutzen, bekanntlich ist Helligkeit der einzelnen Farben in dem Lichte verschiedener selbstleuchtender Körper,

262 irdischer sowohl als himmlischer, von verschiedener Stärke, die Anordnung der dunkeln und hellen Linien ist verschieden. Will man das Spectrum des Sonnenlichts zu den Versuchen benutzen, so genügt für Spectren, in denen man nur die gröberen dunkeln Linien und nur die gewöhnlich sichtbaren Farben sehen will, das von einem Spiegel reflectirte Licht des Himmels oder ein von der Sonne beschienenes Papierblatt; nur ist in dem ersteren das Gelb und Orange ein wenig schwach. Man hat hierbei den Vortheil daſs diese Art der Beleuchtung lange Zeit unverändert sich erhält. Um die stärkeren dunkeln Linien *D*, *F* und *G* zu sehen genügt schon ein Spalt von 1 mm Breite in 400 mm Entfernung durch ein Flintglasprisma, dessen brechender Winkel 50° beträgt, mit bloſsem Auge betrachtet; entfernt man sich doppelt so weit vom Spalte, so sieht man schon die meisten von FRAUNHOFER mit groſsen Buchstaben bezeichneten Linien. Man muſs nur gerade die Stellung des Prisma suchen (nach S. 296), bei welcher sich das Auge für die Linien accommodiren kann.

Braucht man ein Spectrum von gröſserer Reinheit, in welchem auch die feineren dunkeln Linien sichtbar werden sollen, oder will man die äuſsersten Grenzen des Spectrum sichtbar machen, so muſs man einen Spiegel aufstellen, welcher Licht von den der Sonne benachbarten Theilen des Himmels, oder von der Sonne selbst durch den Spalt auf das Prisma wirft, und diesen Spiegel, da die Sonne ihren Ort am Himmel ändert, entweder etwa alle drei Minuten von neuem einstellen oder ihn an einen Heliostaten befestigen, welcher ihm eine entsprechende Bewegung mittheilt.

Den Spalt, durch welchen das Licht dringt, und welcher das eigentliche Object des prismatischen Bildes ist, kann man für Versuche, bei denen es nicht auf die feineren dunkeln Linien ankommt, oder wenn man seine Entfernung vom Prisma sehr groſs machen kann, leicht aus undurchsichtigem Papier schneiden. Muſs man dagegen einen sehr feinen Spalt anwenden, so dienen dazu am besten die GRAVESANDE'schen Schneiden. Auf einer viereckigen Messingplatte *Fig.* 127 sind zwei gerade Schienen *ab*, *ab* befestigt, zwischen deren Enden *aa* eine Platte *aa cc* festliegt, deren Rand *cc* zugeschärft ist. Ihm gegenüber steht der zugeschärfte Rand *dd* einer anderen zwischen den Schienen verschiebbaren Platte *ddee*. Letztere wird mittels einer Schraube *f* mit sehr feinen Windungen, deren Mutter in dem auf der Grundplatte drehbar befestigten Zapfen *g* liegt, bewegt. Man kann auf diese Weise die beiden Schneiden *cc* und *dd* in sehr kleine Entfernungen von einander fein einstellen, wobei sie, wenn das Instrument gut gearbeitet ist, stets parallel bleiben. Die Grundplatte hat an der den Schneiden entsprechenden Stelle einen Ausschnitt, welcher das zwischen den Schneiden durchgegangene Licht frei weiter gehen läſst.



*Fig. 127.*

Die GRAVESANDE'schen Schneiden müssen in der Mitte eines hinreichend groſsen dunkeln Schirms befestigt und ihre dem Beobachter zugekehrte Seite selbst geschwärzt sein. Der Schirm muſs groſs genug sein, daſs in der Nähe des Spaltes nirgends ein beleuchteter Gegenstand sichtbar ist, dessen Spectrum bis zu dem des Spaltes hinreichen könnte. Bei allen Versuchen, wo nicht die vollständige Entfernung der letzten Reste weiſsen Lichtes erfordert wird, kommt es mehr darauf an, daſs der Schirm, in welchem sich der Spalt befindet, gleichmäſsig dunkel, als daſs er absolut dunkel sei. Überall wo eine Verschiedenheit der Beleuchtung, selbst nur der Gegensatz von Sammetschwarz und Grauschwarz sich findet, zeigt das Prisma Farben, während eine gleichmäſsig beleuchtete Fläche dergleichen nicht zeigt. Man kann also eine groſse Zahl solcher Versuche vollständig gut in einem hellen Zimmer auführen, wenn man nur den Spalt in einem genügend groſsen und gleichmäſsig schwarz gefärbten Schirm anbringt.

Für viele Versuche, bei denen es nicht auf sehr sorgfältige Reinigung des farbigen ·htes ankommt, sind die Spectroskope sehr bequem. Das Prisma ist darin auf em drehrunden Stativ aufgestellt, welches auch zwei Röhren trägt, von denen die eine vollständiges, auf Unendlich eingestelltes Fernrohr ist, die andre von einem solchen r die Objectivlinse als Collimatorlinse enthält, statt des Oculars dagegen den Spalt t GRAVESANDE's Schneiden in einer Auszugsröhre trägt. Das Innere dieser Röhre ist gfältig geschwärzt, der Raum zwischen beiden Röhren, in dem das Prisma steht, wird mit em schwarzen Tuche überdeckt, um alles fremde Licht abzuhalten. Der Spalt wird nau in den Brennpunkt der Collimatorlinse eingestellt, so dafs diese die Strahlen von em Punkt des Spaltes einander parallel macht; so fallen sie auf das Prisma, und chdem sie von diesem abgelenkt sind, in das Fernrohr, durch welches der Beobachter s in ein Spectrum ausgezogene Bild des Spaltes sieht. Sind die beiden Röhren an men befestigt, die um die verticale Axe des Stativs drehbar sind, und deren Drehungs-nkel durch eine passend angebrachte Winkeltheilung gemessen werden kann, so nennt n die Apparate Spectrometer. Die Construction derselben findet sich in den phy-likalischen Lehrbüchern beschrieben.

Für viele physiologisch optische Fragen ist es wichtig etwas gröfsere Felder nur t einer der Spectralfarben ausgefüllt, vor sich zu haben. Dazu kann man das Spec-skop leicht einrichten, wenn man für das Fernrohr eine zweite Auszugsröhre mit AVESANDE's Schneiden anfertigen läfst, die an Stelle der Ocularröhre in das Fernrohr gesetzt werden kann. Das Schema dieser Anordnung ist in *Fig. 128* dargestellt; rin ist *k* eine Sammellinse, welche die ankommenden Lichtstrahlen auf den Spalt des hirmes *b* concentrirt; *l* ist die Collimatorlinse, in deren Brennpunkt der Spalt von *b* ht, *P* das Prisma, *m* das Fernrohrobjectiv, in dessen Brennpunkt statt des Oculars r zweite Schirm *a* steht; hinter diesem das Auge des Beobachters. Wenn die beiden

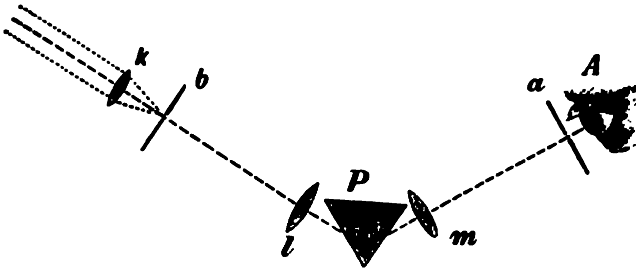



*Fig. 128.*

ılte dann genau so eingestellt werden, dafs für eine gewählte Farbe der zweite ıau das optische Bild des ersten ist, so geht durch den zweiten nur farbiges Licht von Brechbarkeit dieser Farbe hindurch, alles andere wird neben dem Spalte abgefangen. r Beobachter sieht dann durch den zweiten Spalt die ganze brechende Fläche des sma vor sich mit nur dieser einen Farbe beleuchtet. Sollte dieselbe noch nicht ganz nogen erscheinen, so sind die beiden Spalten nicht in genau zusammengehörigen reinigungspunkten. Erscheint die Farbe durch den oberen Theil des Ocularspalts ge-en etwas anders, als durch den untern Theil, so sind die Spalte nicht parallel.

Um hierbei gleichmäfsige Beleuchtung des Prisma zu erhalten, und andrerseits um der Beobachtung des Spectrum durch das Fernrohr nicht durch Diffractionen und be Zerstreuungskreise gestört zu werden, mufs man dafür sorgen, dafs von jedem nkt des Spaltes volle Lichtkegel zu der Collimatorlinse, beziehlich durch das Prisma n Objectiv des Fernrohrs gehen. Deshalb ist es bei schmaleren Lichtquellen oft hig, vor dem ersten Spalt *b* noch eine Brennlinse *k* aufzustellen, die ein Bild der ıne oder der Beleuchtungsflamme auf der Ebene des Spalts entwirft. Übrigens ist zu

bemerken, daſs die [illegible] die im Folgenden zu besprechenden Störungen durch Licht, welches unregelmäſsige Wege einschlägt, vermehrt.

[illegible] Wenn es dagegen auf vollständige Entfernung des weiſsen Lichtes ankommt, wie bei den Versuchen, welche die Unzerlegbarkeit und Unveränderlichkeit [illegible] des homogenen Lichtes nachweisen sollen, und bei den Untersuchungen der Grenzen des Spectrum, muſs der Schirm, in welchem sich der Spalt befindet, absolut dunkel sein. Am leichtesten ist dies zu erreichen, wenn man über ein zu optischen Versuchen eingerichtetes dunkles Zimmer mit verschliessbaren und dicht eingefugten Fensterläden verfügen kann. Man setzt dann die Platte mit den Schneiden gleich in eine Öffnung der Läden selbst ein. Übrigens läſst sich dasselbe oft auch in den gewöhnlichen Wohnzimmern erreichen, wenn man die Fenstervorhänge und Fensterläden bis auf eine schmale Spalte schlieſst, durch welche das Licht einfällt. Die Spalte wird im Boden eines schwarz ausgestrichenen Kastens angebracht, dessen offene Mündung dem Beobachter zugekehrt ist. Die Seitenwände des Kastens halten das seitlich einfallende Licht vom Grunde des Kastens ab, so daſs dieser schon sehr dunkel wird. Neben den Spalt klebt man dann zwei Streifen schwarzen Sammets an den Grund des Kastens, deren Breite der Länge des Spaltes gleich ist, und deren Länge die Länge des auf die Ebene des Spaltes projicirten Spectrum um etwas übertrifft, so daſs sich das ganze Spectrum auf der Fläche des Sammets entwirft. Auſserdem muſs man durch Aufstellung passender dunkler Schirme dafür sorgen, daſs kein Licht von den noch übrig gebliebenen helleren Stellen des Zimmers auf das Prisma oder die Linsen des Fernrohrs und das Auge des Beobachters fällt.

Die Herstellung eines absolut dunkeln Schirms in einem dunkeln Zimmer genügt aber noch nicht, um das Spectrum von den letzten sichtbaren Resten weiſsen Lichts zu befreien, so lange noch diffuses Licht von mehreren Farben das Prisma selbst, die Linsen des Fernrohrs und das Auge des Beobachters trifft. In der oben entwickelten Theorie für die Entstehung der prismatischen Bilder haben wir nur das regelmäſsig gebrochene Licht berücksichtigt. Wir müssen aber bedenken, daſs an jeder brechenden Fläche auch noch Licht reflectirt wird, und in jeder festen oder flüssigen durchsichtigen Substanz eine kleine Menge Licht unregelmäſsig nach allen Richtungen hin zerstreut wird.

Was zunächst die Reflexionen betrifft, so kommen dergleichen erstens im Prisma vor, wenn diejenige Fläche des Prisma, welche der brechenden Kante gegenüberliegt, nicht mit schwarzer Farbe oder Asphaltlack überzogen und ihrer Reflexionsfähigkeit [illegible] ist, sondern glatt geschliffen, so wird sie in der Regel, so oft Licht durch das Prisma geht, erleuchtet werden. Ist in Fig. 139 $abcd$ der Weg eines von $d$ kommenden Strahles und bei $a$ das Auge des Beobachters, so erblickt der Beobachter in der scheinbaren Lage $fe$ ein Spiegelbild der Fläche $fe$ des Prisma, welches hell erscheint, wenn diese Fläche erleuchtet ist, und also diffuses weiſses Licht im Gesichtsfelde des Beobachters verbreiten. Ist die Fläche $fe$ dagegen auch polirt, so reflectirt sie das Licht regelmäſsig, und namentlich bei Prismen, deren Querschnitt ein gleichschenkeliges Dreieck ist, gelangt auſser dem Wege $abcd$ auch noch Licht auf dem Wege $dcbgcba$ nach drei Reflexionen bei $b$, $g$ und $c$ nach $a$. Dieses Licht ist nicht in Farben zerlegt, sondern weiſs. Der Beobachter sieht vermittels dieses Lichts ein schwaches weiſses Bild des Spaltes in seinem Gesichtsfelde und kann es benutzen, um das Minimum der Ablenkung genau herzustellen. Bei Prismen, deren Querschnitt ein gleichseitiges Dreieck ist, fällt nämlich dieses weiſse Bild genau mit der Farbe des Spectrum zusammen, welche im Minimum der Ablenkung steht. Ein solches genau begrenztes schwaches [illegible] ist bei unseren Versuchen weniger zu fürchten, weil es nur einen kleinen Theil des Gesichtsfeldes einnimmt, es ist weniger [illegible] wenn diese matt geschliffen ist. Dagegen

kann nun auch durch diese Fläche Licht von seitlichen Gegenständen in das Auge des Beobachters kommen, für dessen Abblendung man sorgen mufs. Am besten ist es ebenfalls, mit Ausnahme der beiden brechenden Flächen des Prisma alle übrigen zu schwärzen.

Wenn man das Spectrum durch ein Fernrohr beobachtet, kommen auch die Reflexionen an den vorderen und hinteren Flächen der Linsen in Betracht. Es werden dadurch kleine lichtschwache regelmäfsige Bildchen der vor dem Fernrohr liegenden Objecte entworfen, die aber meist so liegen, dafs der Beobachter sein Auge nicht für sie 264 accommodiren kann, und die deshalb eine schwache weifse Beleuchtung des Gesichtsfeldes geben. Man bemerkt diese Beleuchtung leicht, wenn man ein Fernrohr auf einen tiefschwarzen Gegenstand richtet, während seitwärts sich sehr helle befinden. Das Gesichtsfeld grenzt sich dann als schwach erleuchtet gegen die schwarze Blendung des Oculars ab.

Einen ähnlichen, aber schwerer zu beseitigenden Effect hat die Zerstreuung des Lichts in den Glasmassen. Eine jede noch so klare Glasmasse erscheint weifslich trübe, sobald man sie scharf von der Sonne beschienen vor dunklem Grunde betrachtet, namentlich wenn das Auge sich nahehin in der Richtung der durchgelassenen Strahlen befindet. Dasselbe ist, wie wir schon früher bemerkt haben [1], der Fall mit der Hornhaut und Linse des menschlichen Auges. Wir müssen also berücksichtigen, dafs jede der vom Lichte durchlaufenen Glasmassen eine, wenn auch verhältnifsmäfsig kleine Menge des Lichtes, welches überhaupt durch sie hingeht, diffus zerstreut und mit solchem Licht das Gesichtsfeld des Beobachters anfüllt. Ebenso ist auch stets eine sehr kleine Menge von jeder Art Licht, welche überhaupt in das Auge dringt, über die ganze Netzhaut ausgebreitet. Solches unregelmäfsig zerstreute Licht ist allerdings von aufserordentlich geringer Lichtstärke, wenn man es mit dem regelmäfsig gebrochenen oder reflectirten Lichte vergleicht. Doch wird es merklich, wenn man sehr lichtschwache Theile des Spectrum zu untersuchen hat. Es ist z. B. der Grund, warum man bei den gewöhnlichen Einrichtungen der Spectralversuche das äufserste Roth der Linie $A$ und das Ultraviolet nicht wahrnimmt, und es macht sich auch sehr bemerklich, wenn man einzelne Stellen des Spectrum durch farbige Gläser oder Flüssigkeiten sehr abschwächt, dann kann der Farbenton solcher Stellen durch das diffus im Gesichtsfelde verbreitete schwache Licht sehr beträchtlich geändert werden.

Diese Schwierigkeiten lassen sich bei Untersuchungen über lichtschwache Theile des Spectrum nur dadurch vollständig überwinden, dafs man durch den Spalt nur noch

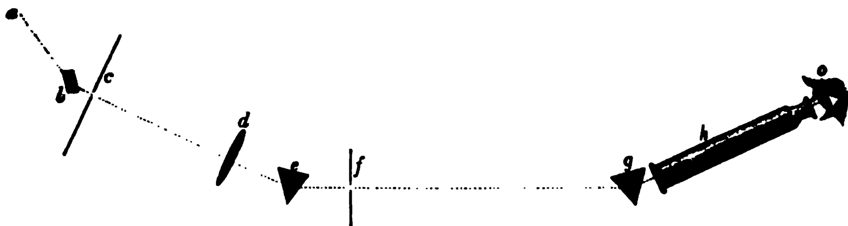



*Fig. 130.*

solches Licht in gröfserer Stärke auf das Prisma und Fernrohr fallen läfst, wie es gerade untersucht werden soll, und alles Licht anderer Art, so weit man kann, ausschliefst. In einzelnen Fällen kann man dies einfach dadurch erreichen, dafs man farbige Gläser zwischen die Lichtquelle und den Spalt einschaltet, z. B. rothes Glas, um die Grenze des äufsersten Roth im Spectrum sichtbar zu machen. Allgemeiner und vollständiger erreicht man den Zweck, wenn man hintereinander zwei Spalten und zwei Prismen aufstellt, in der Weise, dafs durch den zweiten Spalt, dessen Bild das Spectrum geben soll,

[1] S. oben S. 25 und 177.

nur noch Licht der betreffenden Art hindurchgeht. Das Schema dieser Anordnung ist in *Fig. 130* gegeben. Der einfallende Lichtstrahl *ab* trifft bei *b* auf den Spiegel des Heliostaten, geht durch einen Spalt in dem Schirme *c*, der im Allgemeinen nicht sehr eng zu sein braucht, fällt dann auf die Linse *d* und das Prisma *e* auf den Schirm *f*, welcher so weit von der Linse absteht, dafs die vom Spalte *c* ausgegangenen Strahlen auf ihm vereinigt werden, so dafs auf ihm ein in ein Spectrum ausgezogenes Bild dieses Spaltes entsteht. Dieses erste Spectrum braucht im Allgemeinen nicht rein zu sein. Es mufs vielmehr, so oft man einen etwas breiteren Theil des Spectrum untersuchen will,
265 wie z. B. das Ultraviolet, so unrein sein, dafs es eine Stelle giebt, wo sich sämmtliche ultraviolette Strahlen decken. Um dies nach Belieben zu reguliren, ist es eben vortheilhafter, das Prisma zwischen Linse und Schirm zu stellen. Nähert man den Schirm dem Prisma, und entfernt die Linse um ein entsprechendes Stück, so wird das Spectrum kürzer und unreiner. Entfernt man den Schirm von dem Prisma, so wird er länger und reiner. In dem Schirme *f* befindet sich zwischen Gravesande'schen Schneiden ein feiner Spalt, den man so stellt, dafs gerade die Farbe des Spectrum, welche untersucht werden soll, sich auf ihm projicirt. Will man z. B. das Ultraviolet untersuchen, so rückt man den Spalt so, dafs er neben dem äufsersten Rande des sichtbaren Violet steht. Unter diesen Umständen geht nun regelmäfsig gebrochenes Ultraviolet, so lichtstark als es eben die Sonne liefert, durch den Spalt, und gleichzeitig etwas weifses von der Substanz des Prisma und der Linse diffus zerstreutes oder an ihren Flächen mehrfach reflectirtes Licht. Das letztere ist allerdings aufserordentlich viel schwächer, als das regelmäfsig gebrochene Sonnenlicht im Spectrum, aber doch stark genug, um auf dem Schirme *f* das Ultraviolet ganz zu verdecken. Das durch den Spalt *f* gegangene Licht fällt nun auf das zweite Prisma *g* und dahinter entweder unmittelbar oder durch ein Fernrohr in das Auge des Beobachters, wenn man nicht vorzieht, statt des Fernrohrs eine Linse aufzustellen, und in ihrem Brennpunkte auf einem Schirme ein objectives Bild des Spectrum aufzufangen. Da durch den Spalt *f* noch etwas weifses Licht gegangen ist, bekommt man auch hier ein vollständiges Spectrum, aber alle seine Theile sind sehr lichtschwach mit Ausnahme des Ultraviolet, oder welche andere Farbe des im ersten Prisma regelmäfsig gebrochenen Lichtes man eben durch den Spalt *f* hat gehen lassen. Wenn auch nun im zweiten Prisma *g* und in den Linsen des Fernrohrs *h* oder im Auge des Beobachters *o* Licht unregelmäfsig zerstreut wird, so ist alles andere Licht aufser dem Ultraviolet jetzt schon zu schwach, als dafs die geringen zerstreuten Theile desselben noch sollten wahrgenommen werden können. In der That gelingt es unter diesen Umständen das Spectrum auch im Fernrohr auf ganz tiefschwarzem Grunde projicirt zu sehen, dessen Schwärze nicht mehr zu unterscheiden ist von der der Ocularblendung, so dafs sich deren Rand nur da noch abzeichnet, wo er das Spectrum bedeckt. Erst wenn man diese tiefe Schwärze des Grundes erreicht hat, kann man sicher sein, reines einfarbiges Licht vor sich zu haben. Unter diesen Umständen wird denn auch das Ultraviolet des Sonnenlichts dem Auge direct sichtbar, und nur bei solchen Vorsichtsmafsregeln gelingt es die Unveränderlichkeit der Farbe des homogenen Lichts, wenn es durch farbige Gläser hindurchgeht, nachzuweisen. So lange dem Spectrum noch eine kleine Menge diffusen weifsen Lichtes beigemischt ist, verändern farbige Medien, welche die betreffende Farbe durch Absorption sehr schwächen, auch scheinbar ihren Farbenton. Ein blaues mit Kobalt gefärbtes Glas zum Beispiel löscht das Gelb des Spectrum fast ganz aus, läfst aber die blauen Strahlen des zerstreuten weifsen Lichts ungeschwächt durchgehen, so dafs diese, mit dem durch Absorption geschwächten Gelb sich mischend, eine weifse oder selbst blauweifse Mischfarbe an Stelle des Gelb geben, welche Mischfarbe aber nicht, wie D. Brewster glaubte, Licht von einem einzigen Grade der Brechbarkeit enthält, sondern deren Licht durch ein zweites Prisma wieder zerlegt werden kann in verschiedenfarbiges und verschieden brechbares Licht. Stellt man denselben Versuch dagegen an einem von diffusem Lichte vollständig befreiten Spectrum an, so bleibt das homogene Gelb auch bei den äufsersten Graden der Schwächung durch ein blaues Glas rein gelb. Wir dürfen deshalb auch nicht, wie Brewster es gethan hat,

aus diesem und ähnlichen Versuchen schliefsen, dafs das Licht gleicher Brechbarkeit und Wellenlänge noch wieder aus drei verschiedenen Lichtarten von rother, gelber und blauer Farbe zusammengesetzt sei, welche verschiedenfarbigen Lichter nur in verschiedenen Theilen des Spectrum verschieden gemischt seien. und durch die Absorption in farbigen Medien von einander getrennt werden könnten. Die Versuche, auf welche er diese Resultate gründet, beruhen theils auf dem erwähnten Umstande, zum Theil auf Contrastwirkungen, zum Theil auf der schon oben erwähnten Abhängigkeit des Farbentons von der Intensität des Lichts[1].

Nach der beschriebenen und in *Fig. 130* schematisch dargestellten Methode kann man das überviolette Spectrum in ganzer Länge dem Auge direct sichtbar machen, ohne eine fluorescirende Substanz anzuwenden, doch müssen für das äufserste Ultraviolet die Prismen und Linsen alle aus Bergkrystall gefertigt sein, nicht aus Glas, weil letzteres die äufsersten ultravioletten Strahlen des Sonnenspectrum merklich absorbirt. Man sieht dann auch sehr deutlich die aufserordentlich grofse Zahl dunkler Linien, welche dieser Theil des Spectrum enthält. Ich glaubte die Helligkeit des im Fernrohre gesehenen ultravioletten Spectrum verstärken zu können, wenn ich in die Ocularblendung eine dünne Schicht Chininlösung zwischen zwei Quarzplatten einschaltete. Dann wird das Spectrum gerade auf die Chininlösung projicirt und erregt deren Fluorescenz. Die fluorescirende Chininfläche wird durch die Ocularlinse betrachtet, und es erscheint nun dem Beobachter ein ähnliches Bild, wie es ohne Chininschicht erscheint, nur ist das Bild dann nicht aus ultraviolettem Lichte, sondern aus weifsblauem Lichte mittlerer Brechbarkeit gebildet. Die Helligkeit dieses Bildes war aber in meinem Fernrohr nicht, wie ich erwartet hatte, gröfser als die des direct gesehenen ultravioletten Lichts, sondern fast gleich, eher kleiner, und die Linien waren wegen der Dicke der Chininschicht undeutlicher. Der Grund davon ist darin zu suchen, dafs durch das Objectivglas des Fernrohrs nur ein schmaler Lichtkegel in das Instrument eindringt, alles oder fast alles Licht dieses Kegels aber auch in das Auge fällt und die Netzhaut beleuchtet, wenn keine Chininschicht eingeschaltet ist. Wenn aber das ultraviolette Licht auf eine Chininlösung fällt, so verbreitet sich das vom Chinin ausgehende Licht nach allen Richtungen des Raums hin, und nur ein sehr kleiner Theil desselben trifft das Auge des Beobachters, daher dessen Netzhaut trotz der grofsen Steigerung der Helligkeit des fluorescirenden Lichts nicht stärker beleuchtet wird. Auf diese Erfahrung ist die oben gegebene Angabe über das Verhältnifs der Helligkeit des unveränderten ultravioletten Lichts und der dadurch auf Chinin erregten Fluorescenz gegründet.

Ist $a$ die Apertur des Objectivglases oder des davor stehenden Prisma, wenn letzteres die Grundfläche des Lichtkegels begrenzt, und $r$ der Abstand des Bildes, und denkt man sich ferner um den Ort des Bildes als Mittelpunkt eine Kugelfläche vom Radius $r$ geschlagen, so würde das ultraviolette Licht, wenn es sich ungestört fortpflanzte, von der Kugelfläche nur eine Fläche von der Gröfse $a$ beleuchten. Wäre das Bild aber auf Chinin gefallen, so würde es die ganze Kugelfläche, deren Gröfse $4\pi r^2$ ist, gleichmäfsig beleuchten. Im ersteren Falle ist das Licht also concentrirter in dem Verhältnisse $\frac{4\pi r^2}{a}$ im Vergleich zum letzteren Falle, und wenn ein Auge, dessen Pupille ganz in das Strahlenbündel beider Lichtarten eingetaucht ist, sie beide gleich hell sieht, so folgt, dafs bei gleicher Verbreitungsweise das Fluorescenzlicht im Verhältnifs $\frac{4\pi r^2}{a}$ heller sein würde. Letzterer Bruch war bei meinem Apparat, nach Anstellung der nöthigen Correctionen, gleich 1200. Daraus folgt also, dafs das ultraviolette Licht auf einem Chininschirme aufgefangen etwa 1200 Mal heller erscheinen mufs, als wenn es auf einer nicht fluorescirenden matten weifsen Fläche von Porzellan aufgefangen wird.

[1] Helmholtz, Pogg. Ann. LXXXVI. 501. 1852. — Bernard, Ann. de Chim. XXXV. 385—438. 1852.

Die Fluorescenz der stark fluorescirenden Substanzen kann man in jedem Spectrum leicht beobachten und erkennen. Handelt es sich aber darum die schwächsten Grad der Fluorescenz wahrzunehmen, wie z. B. die der Netzhaut, so kann man den in *Fig. 13* dargestellten Apparat mit folgenden Abänderungen benutzen. Man macht das erst Spectrum sehr unrein, indem man den ersten Spalt bei *c* ganz wegnimmt und das Prism *e* ziemlich nahe an den Schirm *f* heranrückt; dabei läſst man die Grenze des Viole auf dem Schirme *f* gerade dessen weit geöffneten Spalt berühren. Von dem Fernrohr *h* läſst man nur die Objectivlinse stehen, und bringt dann in deren Brennpunkt, wo da ultraviolette Licht am meisten concentrirt und von allem weiſsen Lichte gereinigt is die fraglichen Substanzen. Es giebt kaum irgend welche Stoffe, an denen man unte solchen Umständen nicht Spuren von Fluorescenz wahrnähme. Da bei diesen Versuche auch das unveränderte ultraviolette Licht noch sichtbar sein kann, so blickt man nac
267 der untersuchten Substanz entweder durch ein gelbes oder grünes Glas (am besten Uran glas), welches das Ultraviolet auslöscht, oder durch ein schwach brechendes Prisma welches das Ultraviolet von den Farben mittlerer Brechbarkeit trennt. Die Fluorescen der Linse und der Hornhaut des Auges ist leicht nachzuweisen, wenn man ein lebende Auge in den Focus ultravioletten Lichts bringt. Die Linse wird so stark beleuchtet daſs man noch viel besser als bei der Beleuchtung mit gewöhnlichem Licht (S. 25—26 ihre Lage dicht hinter der Iris und ihre Form erkennen kann. Die fluorescirende Lins zerstreut natürlich eine groſse Menge blauweiſsen Lichts gleichmäſsig über den ganze Hintergrund des Auges. Wenn man dagegen ein ultraviolettes Spectrum betrachtet sieht man dies sehr scharf und fein gezeichnet. Daher darf man nicht daran denken daſs das überviolette Licht dem Auge etwa wegen der Fluorescenz der Linse sichtba würde. Letztere könnte nie ein scharf begrenztes Netzhautbild geben.

In derselben Weise wie das Ultraviolett untersucht man das äuſserste Roth.

Die Methoden der Wellenmessungen gehören in die physikalische Optik, auf welch ich in dieser Beziehung verweisen muſs.

Vor Newton's Zeit bestand die Farbentheorie meist aus unbestimmten Hypothesen Da das aus dem gesammten weiſsen Lichte ausgeschiedene farbige Licht als Theil noth wendig immer geringere Intensität hat als das Ganze, so betrachtete man in älterer Zei diese Verminderung der Lichtintensität als das Wesentlichste der Farbe, und die Meinun des Aristoteles, Farbe entstehe durch die Mischung von Weiſs und Schwarz, zählt viele Anhänger. Er selbst ist unschlüssig, ob er diese Vermischung als eine wahre Ve schmelzung oder mehr als ein atomistisches Über- oder Nebeneinanderliegen denken sol Das Dunkel, meint er, müsse durch die Reflexion an den Körpern entstehen, da jed Reflexion das Licht schwäche. Es ist dies die durchgängige Ansicht bis zum Anfang der neueren Zeit z. B. bei Maurolycus, Joh. Fleischer, de Dominis, Funk, Nuguе (siehe Goethe's Geschichte der Farbenlehre), und in neuerer Zeit hat Goethe[1] sie noc einmal in seiner Farbenlehre zu vertheidigen gesucht. Dieser geht eigentlich nicht dara aus eine Erklärung der Farbenerscheinungen im physikalischen Sinne zu geben — a solche genommen, würden seine Sätze sinnlos sein —, sondern er sucht nur die B dingungen allgemein aufzustellen, unter denen Farben entstehen; diese sollen sich i einem „Urphänomen" deutlich darlegen. Als solches betrachtet er die Farben trübe Medien. Eine groſse Zahl solcher Medien machen durchgehendes Licht roth, auffallend läſst sie vor dunklem Hintergrunde blau erscheinen. Während nun Goethe im Al gemeinen der Ansicht des Aristoteles folgt, daſs das Licht verdunkelt, oder mit Dunk gemischt werden müsse, um Farben zu erzeugen, glaubt er in den Erscheinungen de trüben Medien die besondere Art der Verdunkelung gefunden zu haben, welche nic Grau, sondern Farben erzeuge. Was dadurch am Lichte selbst geändert werde, erklä er nie. Er spricht wohl davon, daſs das trübe Medium dem Lichte etwas Körperliche Schattiges gebe, wie es zur Erzeugung der Farbe nöthig sei. Wie er sich dies denk deutet er nicht näher an. Unmöglich kann er meinen, daſs von den Körpern etwa

[1] Goethe, *Beiträge zur Optik.* Weimar 1791. 92. — *Zur Farbenlehre.* 1810.

Körperliches mit dem Lichte davonfliege; und einen andern Sinn könnte es doch kaum haben, wenn es eine physikalische Erklärung sein sollte.

Goethe betrachtet ferner alle durchsichtigen Körper als schwach trübe, so auch das Prisma, und nimmt an, dafs das Prisma dem Bilde, welches es dem Beobachter zeigt, von seiner Trübung etwas mittheile. Er scheint dabei gemeint zu haben, dafs das Prisma nie ganz scharfe Bilder entwirft, sondern undeutliche, verwaschene; denn er reiht sie in der Farbenlehre an die Nebenbilder an, welche parallele Glasplatten uud Krystalle von Kalkspath zeigen. Verwaschen sind die Bilder des Prisma allerdings im zusammengesetzten Lichte, vollkommen scharf im einfachen, welches Goethe, wie es scheint, aber nie vor sich gehabt hat, da er die zusammengesetzten Methoden, welche es liefern können, einzuschlagen verschmähte. Betrachte man, meint er, durch das Prisma eine helle Fläche auf dunklem Grunde, so werde das Bild vom Prisma verschoben und getrübt. Der vorangehende Rand desselben werde über den dunklen Grund hinübergeschoben, und erscheine als helles Trübes vor Dunklem blau. Der hinterher folgende Rand der hellen Fläche werde aber von dem vorgeschobenem trüben Bilde des darnach folgenden schwarzen Grundes überdeckt und erscheine als ein Helles hinter einem dunkeln Trüben gelbroth. Warum der vorangehende dunkle Rand vor dem Grunde, der nachbleibende hinter demselben erscheine, und nicht umgekehrt, erklärt er nicht. Auch diese Darstellung der Sache, wenn man sie als physikalische Erklärung fassen wollte, wäre sinnlos. Denn das prismatische Bild, welches in diesen Fällen gesehen wird, ist ein potentielles, also nur der geometrische Ort, in welchem rückwärts verlängert, sich die Lichtstrahlen, welche in das Auge des Beobachters fallen, schneiden würden, und kann also nicht die physikalischen Wirkungen eines trüben Mittels ausüben. Es sind diese Goethe'schen Dar- 268
stellungen eben nicht als physikalische Erklärungen, sondern nur als bildliche Versinnlichungen des Vorgangs aufzufassen. Er geht überhaupt in seinen naturwissenschaftlichen Arbeiten darauf aus, das Gebiet der sinnlichen Anschauung nicht zu verlassen, jede physikalische Erklärung mufs aber zu den Kräften aufsteigen, und die können natürlich nie Object der sinnlichen Anschauung werden, sondern nur Objecte des begreifenden Verstandes.

Die Versuche, welche Goethe in seiner Farbenlehre angiebt, sind genau beobachtet und lebhaft beschrieben; über ihre Richtigkeit ist kein Streit. Die entscheidenden Versuche mit möglichst gereinigtem einfachen Lichte, auf welche Newton's Theorie gegründet ist, scheint er nie nachgemacht oder gesehen zu haben. Seine übermäfsig heftige Polemik gegen Newton gründet sich mehr darauf, dafs dessen Fundamentalhypothesen ihm absurd erscheinen, als dafs er etwas Erhebliches gegen seine Versuche oder Schlufsfolgerungen einzuwenden hätte. Der Grund aber, weshalb ihm Newton's Annahme, das weifse Licht sei aus vielfarbigem zusammengesetzt, so absurd erschien, liegt wieder in seinem künstlerischen Standpunkte, der ihn nöthigte alle Schönheit und Wahrheit unmittelbar in der sinnlichen Anschauung ausgedrückt zu suchen. Die Physiologie der Sinnesempfindungen war damals noch unentwickelt; die Zusammensetzung des Weifs, welche Newton behauptete, war der erste entschiedene empirische Schritt zu der Erkenntnifs der nur subjectiven Bedeutung der Sinnesempfindungen. Und Goethe hatte daher ein richtiges Vorgefühl, wenn er diesem ersten Schritte heftig opponirte, welcher den „schönen Schein" der Sinnesempfindungen zu zerstören drohte.

Das grofse Aufsehen, welches Goethe's Farbenlehre in Deutschland machte, beruhte zum Theil darauf, dafs das grofse Publicum, ungeübt in der Strenge wissenschaftlicher Untersuchungen, natürlich mehr geneigt war einer künstlerisch anschaulichen Darstellung des Gegenstandes zu folgen, als mathematisch physikalischen Abstractionen. Dann bemächtigte sich auch die Hegel'sche Naturphilosophie der Goethe'schen Farbenlehre für ihre Zwecke. Hegel wollte ähnlich wie Goethe in den Naturerscheinungen den unmittelbaren Ausdruck gewisser Ideen oder gewissér Stufen des dialectisch sich entwickelnden Denkens sehen, darin liegt seine Verwandtschaft mit Goethe und sein principieller Gegensatz gegen die theoretische Physik.

Descartes[1] machte bei Gelegenheit seiner Untersuchungen über die Theorie des Regenbogens eine neue Hypothese, indem er annahm, die Theilchen, aus denen das Licht bestehe, hätten nicht blos eine geradlinige Bewegung, sondern rotiren auch noch um ihre Axe und von der Rotationsgeschwindigkeit hänge die Farbe ab. Die Rotation und somit auch die Farbe könne übrigens geändert werden durch Einwirkung durchsichtiger Körper. Ähnliche mechanische Vorstellungen bildeten sich Hooke und de la Hire; letzterer liefs die Farben von der Stärke abhängen, mit der das Licht den Sehnerven trifft.

Endlich bewies Newton[2] die Zusammensetzung des weifsen Lichts, und schied einfaches Licht aus, zeigte, dafs dies farbig erscheine, dafs dessen Farbe durch Absorption und Brechung nicht weiter verändert werden könne, dafs verschiedenfarbiges Licht verschiedene Brechbarkeit besitze, und dafs die Farben der natürlichen Körper durch verschiedene Absorption und Reflexion der verschiedenartigen Lichtstrahlen entständen. Übrigens erklärt er die Farbe der Lichtstrahlen schon durchaus aus ihrer Wirkung auf die Netzhaut; nicht die Lichtstrahlen selbst seien roth, sondern sie bewirkten die Empfindung des Roth. Er folgte der Emanationstheorie des Lichtes; Hypothesen über den physikalischen Unterschied der verschiedenfarbigen Lichtarten machte er nicht.

Ziemlich gleichzeitig, 1690, hatte Huyghens die Hypothese aufgestellt, dafs das Licht in Undulationen eines feinen elastischen Medium bestehe; diese Hypothese brachte Euler[3] mit Newton's Entdeckungen in Verbindung, und folgerte daraus, dafs die einfachen Farben sich durch ihre Schwingungsdauer unterschieden; aber freilich nahm er zuerst an, die rothen machten die schnelleren Schwingungen, und fand erst später das Richtige; Hartley stützte diese Ansicht richtig auf die Farben dünner Blättchen. Eine bestimmte Entscheidung darüber wurde erst möglich, als Th. Young und Fresnel das Princip der Interferenz entdeckt hatten, und durch diese Entdeckung gewann auch erst die Undulationstheorie eine allgemeine Anerkennung.

Gegen Newton's Folgerung, dafs die Farbe der Strahlen von der Brechbarkeit abhänge, Strahlen von einem constanten Grade der Brechbarkeit übrigens homogen und von unveränderlicher Farbe seien, trat D. Brewster auf. Er meinte beobachtet zu haben, dafs homogenes Licht, wenn es durch farbige Mittel gehe, seine Farbe ändern könne, und meinte auf diese Weise aus homogenem Lichte Weifs ausscheiden zu können. Er schlofs daraus, dafs es dreierlei verschiedene Arten Licht, den drei sogenannten Grundfarben entsprechend, gebe, rothes, gelbes und blaues, und dafs jede dieser Lichtarten Strahlen von jedem Grade der Brechbarkeit innerhalb der Grenzen des Spectrum liefere, aber so, dafs das rothe Licht am rothen Ende, das gelbe in der Mitte, das Blau am blauen Ende überwiege. Farbige Mittel sollten die verschiedenfarbigen Lichter gleicher Brech-
269 barkeit in verschiedener Stärke absorbiren und dadurch von einander trennen können[4]. Gegen Brewster opponirten Airy, Draper, Melloni, Helmholtz[5], F. Bernard[6]. Aufser einigen Fällen, wo durch Contrastwirkungen der nebenstehenden lebhafteren Farben der Farbenton der durch farbige Gläser sehr geschwächten Strahlen verändert erschien, und anderen Fällen, wo die oben erwähnte Änderung der Farbe mit der Lichtstärke in Betracht kam, rühren die meisten von Brewster geltend gemachten Beobachtungen von dem oben schon erwähnten Umstande her, dafs kleine Mengen weifsen Lichts durch mehrfache Reflexion an den Oberflächen oder durch diffuse Reflexion in der Substanz der Prismen und der Augenmedien über das Gesichtsfeld zerstreut waren.

Die Vergleichung der einfachen Farben mit den Tönen wurde von Newton zuerst angestellt; er verglich aber nur die Breite der Farbenstreifen im Spectrum von Glasprismen mit den musikalischen Intervallen der phrygischen Tonleiter. Schon Lambert

[1] R. Cartesius, *de meteoris.* 1637. Cap. VIII.
[2] J. Newton, *Philosoph. Transact.* 1675. — *Optics*, London 1704.
[3] L. Euler, *Nova theoria lucis colorum, in Opusculis.* Berol. 1746. — *Mém. d. l'Acad. de Berlin.* 1752. p. 27[illegible]
[4] D. Brewster, *Edinb. Transact.* IX. P. II. p. 433. 1831. — Ebenda XII. P. I. 123. *Poggend. Ann.* XXIII. 435.
[5] H. Helmholtz, *Poggend. Ann.* LXXXVI. 501. 1852.
[6] F. Bernard, *Ann. d. Chim.* (3.) XXXV. 385–438. 1852.

bemerkte, dafs in dieser Abtheilung viel Willkührliches wäre, da keine festen Grenzen im Spectrum beständen. Nur soviel sei richtig, dafs die Farbenstreifen vom Roth gegen das Violet dergestalt in der Breite anwachsen, dafs man nicht sowohl die Summe ihrer Breiten, als die Summe ihrer Verhältnisse zum Maafse derselben nehmen mufs, so wie es in der Musik mit den Tönen geschieht. Ähnlich urtheilte DE MAIRAN. Indessen suchte doch Pater CASTEL auf diese Vergleichung ein Farbenclavier zu gründen, welches durch eine gewisse Farbenfolge ähnliche Wirkungen, wie die Musik hervorbringen sollte. HARTLEY, welcher die Unterschiede der Farben auf Schwingungen verschiedener Länge zurückzuführen suchte, gewann dadurch die Möglichkeit einer directeren Vergleichung mit den Schwingungszahlen der Töne. In demselben Sinne bemerkte auch TH. YOUNG, dafs der ganze Umfang des damals bekannten Theils des Spectrum einer grofsen Sexte gleich kommt, dafs Roth, Gelb, Blau etwa den Verhältnissen $8:7:6$ entsprechen. Nachdem nun in neuerer Zeit die Gröfse der Wellenlängen für die verschiedenen Farben namentlich durch FRAUNHOFER's Messungen genauer bekannt geworden ist, hat DROBISCH[1] wieder versucht, die Vergleichung der Farbenscala mit der Tonscala herzustellen. Er vergleicht wie NEWTON die Breite der Farben mit den Intervallen der sogenannten phrygischen Tonart $1 : \frac{9}{8} : \frac{6}{5} : \frac{4}{3} : \frac{3}{2} : \frac{5}{3} : \frac{16}{9} : 2$. Da aber das Verhältnifs der Wellenlängen für die Grenzen des gewöhnlich sichtbaren Spectrum, wie es FRAUNHOFER ausgemessen hat, kleiner ist als eine Octave, so erhebt er alle jene Verhältnifszahlen in eine Potenz, als deren Exponent er erst $\frac{2}{3}$, später $\frac{6}{7}$ wählte. Dadurch erhält er folgende Tafel, in der die Wellenlängen in Millionteilen eines Millimeters ausgedrückt sind:

| Farbe | Grenzen | Linie |
|---|---|---|
| | 688,1 | Linie $B = 687,8$ |
| Roth | | $C = 655,6$ |
| | 622,0 | |
| Orange | | $D = 588,8$ |
| | 588,6 | |
| Gelb | | |
| | 537,7 | |
| Grün | | $E = 526,5$ |
| | 486,1 | |
| Blau | | $F = 485,6$ |
| | 446,2 | |
| Indigo | | $G = 429,6$ |
| | 420,1 | |
| Violet | | $H = 396,3.$ |
| | 379,8 | |

Die Grenzen der Farben unter sich stimmen in diesem Schema ziemlich gut mit den natürlichen überein; zweckmäfsig möchte es vielleicht sein statt der kleinen Terz die grofse zu nehmen, also die ganze Vergleichung auf die Durtonleiter zu bauen, wie DROBISCH auch selbst bemerkt; dann fiele die Grenze des Orange und Gelb, die im obigen Schema im Goldgelb bei $D$ liegt, dem reinen Gelb näher. Aber wenn auch in sofern die Vergleichung stimmt, so vergesse man nicht, dafs der ganze Sinn der Vergleichung zwischen Schall- und Lichtwellen schon durch die Erhebung der musikalischen Verhältnisse in eine gebrochene Potenz verloren gegangen ist, dafs die Enden des

[1] DROBISCH, *Abhandlung der sächs. Gesellsch. der Wiss.* Bd. II. *Sitzungsberichte* derselben Novbr. 1852. — Pogg. Ann. LXXXVIII. 519–526.

Spectrum willkührlich abgebrochen sind, da in der That die schwach wirkenden Endfarben des Spectrum an beiden Seiten viel weiter reichen, daſs die NEWTON'sche Abtheilung der 7 Hauptfarben schon willkührlich gemacht und nur der musikalischen Analogien wegen so gewählt ist — Goldgelb verdiente mindestens ebenso gut seinen Platz
270 zwischen Gelb und Orange, wie Indigo zwischen Blau und Violet, ebenso Gelbgrün und Blaugrün, — und daſs endlich Grenzen der Farben im Spectrum wirklich nicht existiren, sondern von uns nur der Nomenclatur zu Liebe willkührlich gezogen werden. Ich selbst glaube deshalb, daſs diese Vergleichungen gar keinen Werth haben.

Endlich hat auch UNGER[1] versucht, auf die Vergleichung der Lichtwellenverhältnisse mit den musikalischen Intervallen eine Theorie der ästhetischen Farbenharmonie zu gründen. In seinen factischen Angaben über die harmonirenden Farben scheint viel Wahres zu sein, was groſsentheils aus Kunstwerken richtig abstrahirt ist; aber seine Theorie, die Vergleichung mit den musikalischen Verhältnissen, ist etwas gewaltsam erzwungen. Auf seiner chromharmonischen Scheibe hat er Farbentöne zusammengestellt, die den 12 halben Tönen der Octave entsprechen sollen, zu welchem Zweck er aber zwischen Violet und Roth purpurrothe Farben einschaltet, die als einfache Farben nicht existiren. In diese purpurnen Töne läſst er die FRAUNHOFER'schen Linien $G$, $H$, $A$ fallen, während die beiden ersteren das reine Violet begrenzen, die letztere dem reinen Roth angehört. Die einfachen Farben, welche über das Violet hinausliegen, sind in Wahrheit blau, nicht purpurroth. Die vollkommenste Harmonie soll dem Duraccord entsprechen. Dieser liefert auf seiner Scheibe z. B. die viel gesehene Zusammenstellung der italienischen Maler: Roth, Grün, Violett. Aber der richtige Duraccord, wenn man Grün als groſse Terz nimmt, wäre Roth, Grün, Indigblau. Den antiken Malern fehlt ein gutes Roth, sie brauchen Mennige, Orange, dafür und bilden den Accord: Orange, Grünblau, röthlich Violet. Die Mollaccorde geben einen sanfteren und trüberen Eindruck, die verminderten und übermäſsigen Dreiklänge geben einen pikanten, weniger künstlerisch reinen Eindruck. Ich glaube, daſs man für die richtigen Beobachtungen der Farbenwirkung, die sich bei UNGER finden, statt der erzwungenen musikalischen Analogien einen anderen Grund suchen muſs. Die gesättigten Farben bilden in der That eine in sich zurücklaufende Reihe, wenn wir die Lücke zwischen den Enden des Spectrum durch die purpurnen Töne ergänzen, und dem Auge scheint es angenehm zu sein, wenn ihm drei Farben geboten werden, die ungefähr gleichweit in der Reihe auseinanderliegen. Die oben erwähnte berühmte Zusammenstellung der italienischen Maler: Roth, Grün, Violett, welche keinem richtigen Duraccorde entspricht, entspricht in Wirklichkeit den drei Grundfarben von TH. YOUNG, und darin kann der Grund ihrer ästhetischen Wirkung liegen. Andere Farben, in richtiger Distanz von einander gewählt, machen einen ähnlichen befriedigenden Eindruck. Wo zwei derselben sich zu sehr nähern, wird der Eindruck minder rein. Das ist vielleicht die Bedeutung von UNGER's Beobachtungen; übrigens kann offenbar bei der sogenannten Farbenharmonie von einer so strengen Bestimmung wie bei den musikalischen Intervallen nicht die Rede sein.[2]

---

[1] UNGER, *Disque chromharmonique.* Göttingen 1854. *Poggend. Ann.* LXXXVII. 121—128. C. R. XL. 239.

[2] Eingehendere Auskunft über die bisher angestellten Vergleichungen der einfachen Farben mit den Tonintervallen findet man:

1703. I. NEWTON. *Optics.* Lib. I. Pars 2. Prop. 3.
1725—35. L. B. CASTEL. *Clavecin oculaire* in *Journ. de Trevoux.*
1737. DE MAIRAN *Mém. de l'Acad. des Sc.* 1737. p. 61.
1772. LAMBERT. *Farbenpyramide.* Augsburg 1772. § 19.
1772. HARTLEY in PRIESTLEY *Geschichte der Optik.* S. 549.
1802. TH. YOUNG *Phil. Transact.* 1802. p. 38.

## § 20. Die zusammengesetzten Farben.

Wir haben gesehen, dafs homogenes Licht von verschiedener Brechbarkeit und Schwingungsdauer die Empfindung verschiedener Farben in unserem Sehnervenapparate hervorbringt. Wenn nun ein und dieselbe Stelle der Netzhaut gleichzeitig von Licht zweier oder mehrerer verschiedener Grade der Schwingungsdauer getroffen wird, so entstehen neue Arten von Farbenempfindungen, welche im Allgemeinen von denen der einfachen Farben des Spectrum verschieden sind, und welche das Eigenthümliche haben, dafs aus der Empfindung der zusammengesetzten Farbe nicht erkannt werden kann, welche einfache Farben in ihr enthalten sind. Es läfst sich vielmehr im Allgemeinen die Empfindung jeder beliebigen zusammengesetzten Farbe durch mehrere Arten der Zusammensetzung verschiedener Spectralfarben hervorbringen, ohne dafs es auch dem geübtesten Sinnesorgane möglich wäre, ohne Hülfe physikalischer Instrumente zu ermitteln, welche einfache Farben in dem zusammengesetzten Lichte verborgen sind. Es unterscheidet sich dadurch das Auge in seiner Reaction gegen die Ätherschwingungen wesentlich vom Ohre, welches, von Tonwellen verschiedener Schwingungsdauer getroffen, die einzelnen Töne zwar zu einer Gesammtempfindung eines Accords verbindet, aber doch jeden einzelnen einzeln darin wahrnehmen kann, so dafs zwei aus verschiedenen Tönen zusammengesetzte Accorde dem Ohre niemals identisch erscheinen, wie es für das Auge verschiedene Aggregate zusammengesetzter Farben sein können. 272

Was hier gesagt ist, bezieht sich auf die unmittelbare Sinnesempfindung, und wird keineswegs umgestofsen durch die Erfahrung, dafs uns ein Act des Urtheils zuweilen die Zusammensetzung wenigstens der Hauptsache nach richtig erkennen läfst. Wer einige Erfahrung über die Resultate der Mischung farbigen Lichtes hat, glaubt zuweilen in einer Mischfarbe die einfachen 273
Farben, welche sie zusammensetzen, wirklich zu sehen, und giebt an, ob mehr von der einen oder anderen darin sei. Indessen wird dann ein Act des auf Erfahrung gegründeten Urtheils mit einem Acte der Empfindung verwechselt. Wenn man z. B. Purpur betrachtet, so kann man wissen, dafs es überwiegend aus Roth und Violet zusammengesetzt sei, und in welchem Verhältnisse beide ungefähr gemischt sind. Aber man kann nicht wissen, ob in der Farbe noch untergeordnete Mengen von Orange oder Blau ent-


1852. Drobisch. *Abhandl d. sachsischen Gesellsch. der Wiss.* Bd. II. *Sitzungsberichte derselben.* Novbr. 1852. *Pogg. Ann.* LXXXVIII. 519—526.
Unger, *Pogg. Ann.* LXXXVII. 121—128 C. R. XL. 239.
1854. Unger, *Disque chromharmonique.* Göttingue.
1855. H. Helmholtz, *Sitzbr. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin* 1855. S. 760. *Inst.* 1856. p. 222.
J. J. Oppel. *Über das optische Analogon der musikalischen Tonarten. Jahresber. der Frankf. Vers.* 1854—55. p. 47—55
E. Chevreul. *Remarques sur les harmonies des couleurs.* C. R. XL. 239 bis 242; *Edinb. Journ* (2.) I. 166—168

halten sind. Wäre es die Empfindung und nicht blos das auf Erfahrung gestützte Urtheil, so müfste man das letztere ebenso gut ermitteln können, als das erstere. Beim Weifs, welches die gröfste Mannigfaltigkeit der Zusammensetzung zuläfst, wird es Niemandem einfallen, heraussehen zu wollen, welche einfachen Farben darin enthalten sind, ob zwei, oder drei, oder vier, und welche besonderen. Wie leicht aber Täuschung hier möglich ist, zeigt das Grün, in welchem, getäuscht durch die Mischung der Malerfarben, sowohl das Gelb als das Blau zu sehen Männer wie Goethe und Brewster behauptet haben, während jetzt nachgewiesen worden ist, dafs Grün aus jenen Farben gar nicht zusammengesetzt werden kann, wenn man nicht Modificationen derselben nimmt, die selbst schon grünlich sind.

Am auffallendsten wird die Täuschung, als könnte man zwei einfache Farben gleichzeitig an demselben Orte sehen, wenn eine Fläche gleichzeitig von zwei verschiedenen Farben erleuchtet wird, aber so dafs an einzelnen Stellen die eine, an anderen Stellen die andere überwiegt, namentlich wenn die eine den Grund füllt, die andere darauf eine regelmäfsige Zeichnung bildet. Besonders günstig ist es auch, wenn die Zeichnung oder die Flecken ihren Ort wechseln. Dann glauben wir oft die beiden Farben gleichzeitig, die eine gleichsam durch die andere hindurch an demselben Orte zu sehen. Wir verfahren in solchen Fällen ebenso, als sähen wir Objecte durch einen farbigen Schleier, oder von einer farbigen Fläche gespiegelt. Wir haben durch Erfahrung gelernt, uns auch unter solchen Umständen ein richtiges Urtheil über die wahre Farbe des Objects zu bilden, und dieselbe Scheidung zwischen der Farbe des Grundes und des darauf unregelmäfsig verbreiteten Lichts nehmen wir dann auch in allen ähnlichen Fällen im Urtheile vor, wobei uns später zu beschreibende subjective Wirkungen der Nachbilder unterstützen. Will man die Empfindung der Mischfarben ungestört haben, so mufs eben das gemischte Licht in dem ganzen Felde, wo es verbreitet ist, gleichmäfsig gemischt sein.

In einzelnen Fällen, namentlich wenn zwei Farben, die im Spectrum weit auseinander liegen, ein scharf begrenztes Feld füllen, erkennen wir die Farben an den Rändern mittels der Farbenzerstreuung im Auge[1] von einander gesondert. Auch das giebt natürlich keinen brauchbaren Einwurf gegen den aufgestellten Satz, da in diesem Falle das Auge selbst wie ein Prisma wirkt, und bewirkt, dafs verschiedene Theile der Netzhaut von dem verschiedenfarbigen Lichte getroffen werden.

Die Methoden um verschiedenfarbiges Licht zusammenzusetzen, und die Wirkung des zusammengesetzten Lichts auf das Auge zu prüfen, sind die folgenden:

1) Man bringt verschiedene Spectra oder verschiedene Theile desselben

Spectrum zum Decken. So erhält man die Zusammensetzungen je zweier einfacher Farben.

2) Man blickt durch eine ebene Glastafel in schräger Richtung nach einer farbigen Fläche, während die dem Beobachter zugekehrte Seite der Glastafel ihm gleichzeitig Licht eines andersfarbigen Objects durch Reflexion zusendet. So gelangt in das Auge des Beobachters gleichzeitig von der Glastafel durchgelassenes Licht der einen und reflectirtes Licht der anderen Farbe, und beide treffen dieselben Theile der Netzhaut. Auf diese Weise kann man namentlich bequem die zusammengesetzten Farben der Naturkörper weiter zusammensetzen.

3) Man läfst auf dem Farbenkreisel Scheiben schnell rotiren, auf denen verschiedenfarbige Sectoren angebracht sind. Ist die Rotation schnell genug, so verbinden sich die Eindrücke, welche die verschiedenen Farben auf der Netzhaut machen, zur Empfindung einer einzigen Farbe, der Mischfarbe.

4) Man betrachtet die Grenze zweier verschiedenfarbiger Felder durch ein doppeltbrechendes Prisma aus Kalkspath, so dafs die Doppelbilder der Grenzlinie auseinander geschoben werden. Zwischen diesen beiden Bildern der Grenzlinie erscheint dann die Mischfarbe.

Alle vier Methoden geben in Rücksicht der Farbenmischung gleiche 274
Resultate, ihre Ausführung wird unten specieller beschrieben werden. Nicht angewendet werden darf die Methode der Mischung pulveriger oder flüssiger Pigmente, welche von NEWTON und vielen anderen Physikern als gleichgeltend mit der ersten Methode, der Mischung von Spectralfarben, betrachtet worden ist. Denn der gemischte Farbstoff giebt keineswegs ein Licht, welches die Summe der von den einzelnen, in der Mischung enthaltenen Farbstoffen reflectirten Lichter wäre.

Nehmen wir, um dies deutlich zu machen, zunächst farbige Flüssigkeiten. Das Licht, welches durch sie hindurchgeht, wird durch Absorption gefärbt, d. h. es werden von den verschiedenfarbigen Strahlen des weifsen Lichts einige, schon nachdem sie eine kurze Strecke in der Flüssigkeit zurückgelegt haben, so geschwächt, dafs sie verschwinden, während andere längere Strecken der Flüssigkeit durchlaufen können, ohne merklich geschwächt zu werden. In dem ausgetretenen Lichte überwiegen die letzteren, und dieses Licht hat also die Farbe derjenigen Strahlen, welche am wenigsten von der Flüssigkeit absorbirt werden. Diese Absorption einzelner Farben des Spectrum kann man nachweisen, wenn man solches Licht, welches durch eine farbige Flüssigkeit (oder farbiges Glas) gegangen ist, nachher ein Prisma passiren läfst, und ein Spectrum bildet. In dem Spectrum fehlt dann eine Reihe von Farben, oder ist sehr schwach, während die Theile des Spectrum, deren Farbe der der Flüssigkeit entspricht, die gewöhnliche Helligkeit haben.

Mischt man nun zwei farbige Flüssigkeiten miteinander, welche sich gegenseitig chemisch nicht verändern, so dafs die Absorptionskraft jeder einzelnen für die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen unverändert bleibt, so gehen nur solche Strahlen durch die Mischung, welche von keiner der beiden

Flüssigkeiten absorbirt werden. Das sind gewöhnlich die Strahlen, welche in der prismatischen Reihe in der Mitte liegen zwischen den Farben der beiden gemischten Flüssigkeiten. Die meisten blauen Körper, z. B. die Kupferoxydsalze, lassen die blauen Strahlen ungeschwächt, etwas weniger gut die grünen und violetten, schlecht dagegen die rothen und gelben hin-
275 durch. Die gelben Farbstoffe dagegen lassen fast alle das Gelb ungeschwächt, gut auch noch Roth und Grün, schlechter Blau und Violet hindurch. Unter solchen Umständen wird durch eine Mischung einer gelben und blauen Flüssigkeit meistentheils das Grün am besten hindurchgehen, weil die blaue Flüssigkeit die rothen und gelben, die gelbe Flüssigkeit die blauen und violetten Strahlen zurückhält. Es ist eine Wirkung derselben Art, als wenn man Licht durch zwei verschiedenfarbige Glasplatten hinter einander gehen läfst, wodurch es immer viel mehr geschwächt wird, als wenn es durch zwei Platten gleicher Farbe gegangen ist. Aber es ist klar, dafs hierbei keine Summation des Lichtes stattfindet, welches jede einzelne Flüssigkeit für sich hindurchläfst, sondern im Gegentheil eine Art von Subtraction, insofern die gelbe Flüssigkeit von den durch die blaue gegangenen Strahlen noch alle die wegnimmt, welche in ihr der Absorption verfallen. Daher sind auch Mischungen farbiger Flüssigkeiten in der Regel viel dunkler als jede einzelne Flüssigkeit für sich.

Bei den pulverigen Farbstoffen verhält es sich ganz ähnlich. Wir müssen jedes einzelne Pulvertheilchen eines Farbstoffes als ein kleines durchsichtiges Körperchen betrachten, welches das Licht durch Absorption färbt. Allerdings ist das Pulver solcher Farbstoffe im Ganzen genommen in hohem Grade undurchsichtig. Indessen wo wir Gelegenheit haben Farbstoffe in zusammenhängenden Massen von gleichmäfsig dichter Structur zu sehen, finden wir sie wenigstens in dünnen Blättern durchsichtig. Ich erinnere an den krystallisirten Zinnober, Grünspan, Chromblei, das blaue Kobaltglas u. s. w., welche wir in fein pulverigem Zustande als Farbstoffe benutzen.

Wenn nun Licht auf ein solches aus durchsichtigen Theilen bestehendes Pulver fällt, wird ein kleiner Theil an der oberen Fäche reflectirt, der Rest dringt ein, und wird erst von den tiefer liegenden Begrenzungsflächen der Pulvertheilchen zurückgeworfen. Eine einzelne Tafel von weifsem Glase reflectirt von senkrecht einfallendem Lichte $^1/_{25}$, zwei solche $^1/_{13}$, eine grofse Zahl fast alles. Bei Pulver aus weifsem Glase müssen wir folglich schliefsen, dafs bei senkrechter Incidenz ebenfalls nur $^1/_{25}$ des auffallenden Lichts von der obersten Schicht reflectirt wird, das übrige von den tieferen Schichten. Ebenso mufs es sich für blaues Licht bei blauem Glase verhalten. Es wird also bei farbigen Pulvern stets nur ein sehr kleiner Theil des Lichtes, welches sie geben, von der obersten Schicht reflectirt, bei weitem das meiste aus tieferen Schichten. Das von der obersten Fläche reflectirte Licht ist weifs, wenn die Reflexion nicht eine metallische ist; erst das aus den tieferen Flächen zurückkehrende ist durch Absorption gefärbt, um so tiefer, je länger sein Weg in der Substanz gewesen ist. Daher ist auch gröberes Pulver

lben Farbstoffs dunkler gefärbt als feineres. Bei der Reflexion kommt imlich nur auf die Zahl der Oberflächen an, nicht auf die Dicke der chen. Sind letztere gröſser, so muſs das Licht einen längeren Weg in ubstanz zurücklegen, um die gleiche Menge reflectirender Oberflächen effen, als wenn sie kleiner sind. Die Absorption der absorbirbaren len ist also in einem groben Pulver stärker, als in einem feineren. hat eine dunklere und gesättigtere Farbe als letzteres. Die Reflexion en Oberflächen der Pulvertheilchen wird geschwächt, wenn wir ein 276
ges Verbindungsmittel zwischen sie bringen, dessen Brechungsvermögen ihrigen näher steht als das der Luft. Trockene Pulver von Pigmenten deshalb in der Regel weiſslicher, als wenn sie mit Wasser oder mit noch stärker brechenden Öl durchtränkt sind.

Wenn nun ein gemischtes farbiges Pulver Licht nur aus der obersten ht reflectirte, in welcher Theilchen von beiden Farben gleichmäſsig ı einander liegen, würde das zurückgeworfene Licht wirklich die Summe Lichter sein, welche die einzelnen ungemischten Pulver geben. Für die ere Menge reflectirten Lichtes aber, welches aus den tieferen Schichten kkommt, ist das Verhältniſs ebenso wie bei gemischten farbigen Flüssign, oder hinter einander gelegten farbigen Gläsern. Dieses Licht hat auf m Wege Pulvertheilchen von beiderlei Art passiren müssen, und entalso nur noch diejenigen Lichtstrahlen, welche durch beide Arten von erkörnchen hindurchgehen können. Für den gröſseren Theil des Lichtes, hes von gemischtem Farbenpulver zurückgeworfen wird, findet also nicht Addition beider Farben, sondern in dem Sinne, wie vorher erläutert le, eine Subtraction statt. Daher erklärt sich auch die Thatsache, daſs lischungen von Pigmenten viel dunkler sind, als die einfachen Pigmente, entlich, wenn ihre Farben weit auseinander liegen. Zinnober und Ultran geben z. B. ein Schwarzgrau, welches kaum einen Schein von Violet, Mischfarbe des rothen und blauen Lichtes, hat, weil das eine Pigment Strahlen des anderen fast vollständig ausschlieſst. Bequem kann man Unterschiede sichtbar machen, wenn man auf einen Farbenkreisel, *131*, am Rande Sectoren *a* und *b* mit zwei einfachen Farbstoffen über-, in der Mitte *c* aber die Mischung der Farbstoffe t aufträgt. So geben Kobaltblau und Chromgelb am e, wo sie getrennt aufgetragen sind, und beim Drehen Scheibe sich der Eindruck ihres farbigen Lichtes in der Netzhaut verbindet, weiſsliches Grau, während materielle Mischung ein viel dunkleres Grün giebt. Es dürfen also die Resultate der Mischung von rfarben durchaus nicht benutzt werden, um daraus isse auf die Mischung farbigen Lichtes zu machen. st z. B. der Satz, daſs Gelb und Blau Grün giebt, für die Mischung Malerfarben ganz richtig, aber fälschlich auf die Mischung farbigen tes übertragen worden.

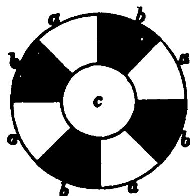


*Fig. 131.*

Obgleich nun die Bezeichnungen Farbenmischung und Mischfa von der Mischung der Farbstoffe hergenommen sind, so wollen wir sie nächst auch für die Zusammensetzung farbigen Lichtes beibehalten, auf we sie nicht ganz rechtmäfsiger Weise übertragen wurden, machen aber darauf merksam, dafs, wenn nicht ausdrücklich das Gegentheil gesagt ist, darn nicht die Mischung von Farbstoffen und deren Resultat verstanden werden

n Wo dies deutlicher hervorgehoben werden soll, können wir diese Zusam setzung auch als Addition der Farben bezeichnen, was später gerechtfe werden soll.

276 Durch die gleichzeitige Einwirkung verschiedener einfacher Farben dieselbe Stelle der Netzhaut entsteht nun eine neue Reihe von Far empfindungen, welche durch die einfachen Spectralfarben nicht hervorgebr werden. Diese neuen Empfindungen sind die des Purpurs, des Weifs der Übergangsstufen des Weifs einerseits in die Spectralfarben und Pu andererseits.

277 Purpurroth entsteht durch Mischung derjenigen einfachen Far welche am Ende des Spectrum stehen. Am gesättigtesten fällt es aus, w man Violet und Roth mischt; weifslicher wird es, Rosenroth, wenn statt des Violet Blau und statt des Roth Orange nimmt. Das Purpur welches durch Carminroth in das Roth des Spectrum übergeht, ist durc verschieden von den beiden Farben Roth und Violet, welche an den äufser Grenzen des gewöhnlich sichtbaren Spectrum stehen, bildet aber für Auge einen Übergang zwischen beiden mit continuirlichen Zwischenstu so dafs dadurch die Reihe der gesättigten Farben, d. h. derjeni welche die wenigste Ähnlichkeit mit Weifs haben, in sich zurücklaufend w

Weifs entsteht durch Zusammensetzung verschiedener Paare von fachen Farben. Farben, welche in einem bestimmten Verhältnisse gemi Weifs geben, nennt man complementäre Farben. Es sind unter Spectralfarben complementär:

| | | |
|---|---|---|
| Roth | und | Grünlich Blau |
| Orange | | Cyanblau |
| Gelb | | Indigblau |
| Grünlich Gelb | | Violet. |

Das Grün des Spectrum hat keine einfache Complementärfarbe, sondern eine zusammengesetzte, nämlich Purpur.

Um zu ermitteln, ob etwa regelmäfsige Verhältnisse zwischen Wellenlängen der einfachen complementären Farben bestehen, habe ich eine Reihe complementärer Farbenpaare die Wellenlängen bestimmt, lasse diese Messungen hier folgen. Die Längeneinheit ist ein Milliont eines Millimeters.

| be. | Wellenlänge. | Complementärfarbe. | Wellenlänge. | Verhältnifs der Wellenlängen. |
|---|---|---|---|---|
| | 656,2 | Grünblau | 492,1 | 1,334 |
| | 607,7 | Blau | 489,7 | 1,240 |
| | 585,3 | Blau | 485,4 | 1,206 |
| | 573,9 | Blau | 482,1 | 1,190 |
| | 567,1 | Indigblau | 464,5 | 1,221 |
| | 564,4 | Indigblau | 461,8 | 1,222 |
| | 563,6 | Violet | von 433 ab | 1,301 |

t mufsten seiner Lichtschwäche wegen die äufsersten Strahlen von lenlänge 433 ab alle zusammengefafst werden.

h diesen Messungen sind in *Fig. 132* in horizontaler Richtung enlängen der Farben von 400 bis 700 der obigen Einheiten auf-, in verticaler die der zugehörigen Complementärfarben. Die Curven also die Wellenlänge der Complementärfarbe als Function der nge jeder einfachen Farbe aus. Am Rande stehen die Namen der lenlängen entsprechenden Farben. Die wirklich gemessenen Werthe ch Kreuzchen bezeichnet.

se Curven zeigen eine auffallende Unregelmäfsigkeit der Vertheilung 278
nplementären Farben im Spectrum an. Wenn man auf der hori- Abscissenlinie vom Violet zum Roth fortschreitet, ändert sich die nge der Complementärfarbe ie die fast horizontal liegende zeigt, äufserst langsam. Ge- n zu den grünlich blauen so ändert sich jene Länge aufserordentlich schnell, der de Ast der Curve nähert r senkrechten Linie. Das ist ebenso im Gelb der ährend am rothen Ende rung wieder äufserst lang- d. Es hängt dies damit n, dafs, wie ich schon im Paragraphen bemerkt habe, enton an den Enden des n sich im Verhältnifs zu llenlängen aufserordentlich in der Mitte dagegen sehr

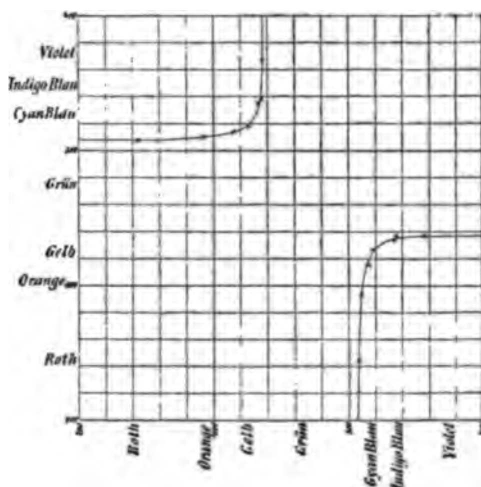



*Fig. 132.*

ändert. Demgemäfs ist denn auch zwischen den Wellenlängen lener Complementärfarben durchaus kein einfaches oder constantes ifs aufzufinden. Es schwankt, wenn man die musikalische

Bezeichnungsweise anwendet, zwischen dem der Quarte (1,333) und dem ( kleinen Terz (1,20).

n Seitdem ich diese Messungen ausgeführt habe, ist noch von v andern Personen die Reihe ihrer Complementärfarben bestimmt word( nämlich von den Herrn J. von Kries, M. von Frey[1], A. König u C. Dieterici[2]. Die Resultate weichen nur unbedeutend von den meinig ab, doch sind die Unterschiede wohl nicht auf Beobachtungsfehler, sonde auf individuelle Eigenthümlichkeiten der Farbensysteme zu schieben.

Es ergab sich

bei Herrn von Kries:

| | | |
|---|---|---|
| 656,2 μμ | complementär zu | 492,4 μμ |
| 626.— „ | „ „ | 492,2 „ |
| 612,3 „ | „ „ | 489,6 „ |
| 599,5 „ | „ „ | 487,8 „ |
| 587,6 „ | „ „ | 484,7 „ |
| 579,7 „ | „ „ | 478,7 „ |
| 577.— „ | „ „ | 473,9 „ |
| 575,5 „ | „ „ | 469,3 „ |
| 572,9 „ | „ „ | 464,8 „ |
| 571,1 „ | „ „ | 460,4 „ |
| 571.— „ | „ „ | 452,1 „ |
| 570,4 „ | „ „ | 440,4 „ |
| 570,1 „ | „ „ | 429,5 „ |

bei Herrn von Frey:

| | | |
|---|---|---|
| 656,2 μμ | complementär zu | 485,2 μμ |
| 626.— „ | „ „ | 484,6 „ |
| 612,3 „ | „ „ | 483,6 „ |
| 599,5 „ | „ „ | 481,8 „ |
| 587,6 „ | „ „ | 478,9 „ |
| 586,7 „ | „ „ | 478,7 „ |
| 577,7 „ | „ „ | 473,9 „ |
| 572,8 „ | „ „ | 469,3 „ |
| 570,7 „ | „ „ | 464,8 „ |
| 569.— „ | „ „ | 460,4 „ |
| 568,1 „ | „ „ | 452,1 „ |
| 566,3 „ | „ „ | 440,4 „ |
| 566,4 „ | „ „ | 429,5 „ |

[1] M. von Frey und J. von Kries. *Archiv für Anat. und Physiol.* Physiol. Abt Jahrgang 1881 S. 336. Die in dieser Abhandlung nach einer willkürlichen Scale ang gebenen Complementärfarben sind in Wellenlängen umgerechnet worden von A. Kö Verhandl. der physikal. Gesellschaft in Berlin. Sitzung vom 13. Juni 1884)

[2] A. König und C. Dieterici. *Wied. Ann.* 33. 1887.

Herrn A. König:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 675.— μμ | complementär | zu | 496,5 μμ |
| 663.— „ | „ | „ | 495,7 „ |
| 650.— „ | „ | „ | 496,7 „ |
| 638.— „ | „ | „ | 495,9 „ |
| 615,3 „ | „ | „ | 496.— „ |
| 582,6 „ | „ | „ | 483,6 „ |
| 578.— „ | „ | „ | 476,6 „ |
| 576.— „ | „ | „ | 467.— „ |
| 574,5 „ | „ | „ | 455.— „ |
| 573.— „ | „ | „ | 450.— „ |

Herrn C. Dieterici:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 670.— μμ | complementär | zu | 494,3 μμ |
| 660.— „ | „ | „ | 494.— „ |
| 650.— „ | „ | „ | 494,3 „ |
| 635.— „ | „ | „ | 494.— „ |
| 626.— „ | „ | „ | 493.1 „ |
| 610.— „ | „ | „ | 492.2 „ |
| 588.— „ | „ | „ | 485,9 „ |
| 585,7 „ | „ | „ | 485,7 „ |
| 578.— „ | „ | „ | 476,6 „ |
| 575.6 „ | „ | „ | 470.— „ |
| 571,5 „ | „ | „ | 455.— „ |
| 571,3 „ | „ | „ | 448,— „ |
| 571.4 „ | „ | „ | 442.— „ |

Ich bemerke übrigens hier noch, dafs die Lichtintensitäten zweier 278
mplementärer einfacher Farben, welche zusammen gerade Weifs geben, m Auge durchaus nicht immer gleich hell erscheinen. Nur bei der ischung von Cyanblau und Orange sind Mengen beider Farben von er dem Auge ungefähr gleich erscheinenden Lichtmenge nothwendig. Sonst scheinen Violett, Indigblau und Roth dunkler als die complementären Mengen s dazu gehörigen Grünlichgelb, Gelb oder Grünlichblau. Da, wie sich im hsten Paragraphen ergeben wird, die Vergleichungen der Helligkeit protionaler Mengen verschiedenfarbigen Lichtes durch das Auge verschieden fallen bei verschiedener absoluter Lichtstärke, so lassen sich auch für Verhältnisse der Helligkeit complementärer Mengen verschiedener Farbenre keine bestimmten Zahlen angeben.

Die Spectralfarben haben demnach in Mischungen verschiedene färbende ft, sie sind gleichsam Farben von verschiedenem Sättigungsgrade. Violet am meisten gesättigt, die anderen folgen ungefähr in folgender Reihe:

Violet
Indigblau
Roth Cyanblau
Orange Grün
Gelb.

279 Endlich haben wir noch die Resultate der Mischung solcher Farben untersuchen, welche nicht complementär sind. Darüber läfst sich folge Regel aufstellen: Wenn man zwei einfache Farben mischt, die im Spectr weniger von einander entfernt sind, als Complementärfarben, so ist Mischung eine der zwischenliegenden Farben und zieht im Allgemei desto mehr in das Weifse, je gröfser der Abstand der gemischten Far ist, wird dagegen desto gesättigter, je kleiner ihr Abstand. Mischt n dagegen zwei Farben, die in der Spectralreihe weiter von einander absteh als Complementärfarben, so erhält man Purpur oder solche Farben, zwischen einer der gemischten und dem entsprechenden Ende des Spectr liegen. In diesem Falle ist die Mischung desto gesättigter, je gröfser Abstand der gemischten Farben im Spectrum ist, sie ist desto weifslich je kleiner ihr Abstand ist, vorausgesetzt, dafs er immer gröfser bleibt, der von zwei Complementärfarben.

Die Herren A. König und C. Dieterici[1] haben bei ihren weiter unten beschreibenden Versuchen gefunden, dafs für die grofse Majorität der mens lichen Augen an beiden Enden des Spectrum zwei Strecken vorkomm von ihnen Endstrecken genannt, in denen nur Unterschiede der Helligke nicht solche des Farbentons zu finden sind. Die rothe Endstrecke reic bis etwa zur Wellenlänge 655, nahe der Linie $C$, die violette begi bei 430, nahe der Linie $G$. An diese schliefsen sich zwei Streck Zwischenstrecken genannt, deren Farben vollständig genau durch Mischu der an den Enden dieser Strecken stehenden Farben wiedergegeben werd können. Die weniger brechbare Zwischenstrecke geht vom Roth bis in d Orange, etwa von Wellenlänge 655 bis 630, die brechbarere von 430 bis 4 Cyanblau. Zwischen den beiden Zwischenstrecken bleibt eine Mittelstrec übrig von 630 bis 475, deren Farben nicht mehr aus zwei entfernter steh den gemischt werden können.

So geben Gelb und Cyanblau gemischt ein sehr weifsliches Grün. F ner giebt Roth, dessen Complementärfarbe Grünlichblau ist, mit Grün g mischt weifsliches Gelb, welches bei wechselnden Mengenverhältnissen d gemischten Farben entweder durch Orange in Roth, oder durch Grünlichge in Grün übergehen kann. Orange und Grünlichgelb können gemischt au einen Gelb geben, welches gesättigter ist, als das aus Roth und Grün e zeugte. Mischen wir dagegen Roth und Cyanblau, so bekommen wir Ro weifsliches Purpurroth, welches bei verändertem Mischungsverhältnis in Roth oder durch weifsliches Indigblau in Cyanblau übergehen kan Dagegen giebt Roth mit Indigblau, und noch mehr mit Violet ein gesättigt Purpurroth.

Die folgende Tabelle zeigt diese Resultate übersichtlich. An der Spit der verticalen und horizontalen Columnen stehen die einfachen Farben;

[1] A. König und C. Dieterici, Sitzungsberichte der Berliner Akad. Sitzung vom [illegible]

h die betreffende verticale und horizontale Columne schneiden, ist die schfarbe angegeben, welche übrigens immer bei verändertem Mischungshältnisse durch die in der Spectralreihe dazwischenliegenden Farben in le der beiden einfachen Farben der Mischung übergehen kann.

| | Violet | Indigblau | Cyanblau | Blaugrün | Grün | Grüngelb | Gelb |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| th | Purpur | dk. Rosa | wfs. Rosa | Weifs | wfs. Gelb | Goldgelb | Orange |
| ange | dk. Rosa | wfs. Rosa | Weifs | wfs. Gelb | Gelb | Gelb | |
| lb | wfs. Rosa | Weiss | wfs. Grün | wfs. Grün | Grüngelb | | |
| üngelb | Weiss | wfs. Grün | wfs. Grün | Grün | | | |
| ün | wfs. Blau | Wasserblau | Blaugrün | | | | |
| agrün | Wasserblau | Wasserblau | | | | | |
| anblau | Indigblau | | | | | | |

dk. = dunkel.
wfs. = weifslich.

Übrigens zeigt es sich auch bei diesen Mischungen wieder, dafs die pectralfarben einen verschiedenen Sättigungsgrad der Farbe haben. So ebt Roth mit gleich hellem Grün gemischt ein röthliches Orange, Violet it gleich hellem Grün ein dem Violet nahestehendes Indigblau. Dagegen eben Farben von gleicher Sättigung in gleicher Helligkeit gemischt auch ischfarben, die von ihren beiden Constituenten ungefähr um gleichviel verchieden sind.

Durch Mischung von mehr als zwei homogenen Lichtern bekommen wir 280
lso keine neuen Farbeneindrücke mehr, sondern die Zahl derselben ist urch die Mischungen je zweier einfacher Farben schon erschöpft; ja wir aben bei den letzteren Mischungen gefunden, dafs die meisten Mischfarben urch verschiedene Paare von einfachen Farben erzeugt werden konnten. Die Mischungen von zusammengesetzten Farben haben im allgemeinen daselbe Ergebnifs, wie die Mischung der ihnen ähnlichen Spectralfarben; nur ällt die Mischung um so weifslicher aus, als die in die Mischung eintretenden Farben selbst schon weifslicher sind als Spectralfarben.

Somit führen alle möglichen Combinationen von Ätherwellensystemen erschiedener Schwingungsdauer nur zu einer verhältnifsmäfsig geringen Anzahl verschiedenartiger Erregungszustände des Sehnervenapparats, die sich n verschiedenen Farbenempfindungen zu erkennen geben. Und zwar unter- n
cheiden wir in der Empfindung und demgemäfs auch in der Sprache nicht mehr als dreierlei Arten von Unterschieden in dem Aussehen verschieden eleuchteter Theile des Sehfeldes, welche wir bezeichnen können als

1. Unterschiede der Helligkeit,
2. Unterschiede des Farbentons,
3. Unterschiede der Farbensättigung.

Die gesättigtesten objectiven Farben, die wir kennen, sind uns in der Reihe der Spectralfarben gegeben. Die Enden dieser Reihe können wir zusammenschliefsen durch das aus Mischung von Roth und Violet entstehende

Purpurroth. Die Unterschiede, welche zwischen den Empfindungen dieser Farben bestehen, bezeichnen wir als solche des *Farbentons*. Denken wir uns eines dieser gesättigten farbigen Lichter mit mehr oder weniger Weifs gemischt, so bekommen wir Farbeneindrücke, die sich dem des Weifs mehr oder weniger nähern, und als die weniger gesättigten oder weifslicheren
280 Abstufungen derselben Farbe zu bezeichnen sind. In der Sprache bezeichnen wir nur selten die weifslicheren Farben durch besondere Namen, wie z. B. weifsliches Purpur als rosenroth, weifsliches Roth als fleischfarben, sondern setzen, um sie bezeichnen zu können, vor den Namen der Farbe die Zusätze „hell“, „blafs“ oder „weifs“, wie z. B. „*hellblau*“, „*blafsblau*“, „*weifsblau*“ eine Reihe von Übergängen aus dem gesättigten Blau in Weifs bezeichnen. Betreffs der Bezeichnung weifslicher Farben durch die Vorsetzsilbe „hell“ ist noch zu bemerken, dafs diese ihrem Sinne nach eigentlich eine lichtstarke Farbe bezeichnen sollte, und hier der Sprachgebrauch eine lichtstarke Farbe nicht von einer weifslichen unterscheidet, was der im vorigen Paragraphen erwähnten Thatsache entspricht, dafs auch dem Auge die lichtstarken gesättigten Farben des Spectrum weifslich, d. h. weniger unterschieden von lichtstarkem Weifs, als die weniger lichtstarken Abstufungen derselben Farbentöne erscheinen.

Unterschiede der Lichtstärke werden von der Sprache nur, insofern dadurch eine Eigenschaft von Körpern angegeben werden soll, als Farben bezeichnet. Mangel des Lichts nennen wir *Dunkelheit*; einen Körper aber, der kein Licht zurückwirft, wenn solches auf ihn fällt, nennen wir *schwarz*; einen Körper, welcher alles auffallende Licht diffus reflectirt, nennen wir *weifs*. Ein Körper, der von allem auffallenden Licht einen gleichen Bruchtheil zurückwirft, ist *grau*; und einer der Licht gewisser Wellenlängen in stärkerem Verhältnifs als das anderer zurückwirft, ist *farbig*.

281 In diesem Sinne also sind auch *Weifs*, *Grau* und *Schwarz* Farben. Lichtschwache gesättigte Farben unterscheiden wir durch den Zusatz „dunkel“, wie *dunkelgrün*, *dunkelblau*; bei äufserst geringer Lichtstärke wenden wir für sie aber auch dieselben Namen an, wie für lichtschwache weifsliche Farben, nämlich für lichtschwaches Roth, Gelb, Grün die Namen *Rothbraun*, *Braun* und *Olivengrün*; für überwiegend weifsliche Farben von geringer Lichtstärke wählt man dagegen Bezeichnungen wie *röthlichgrau*, *blaugrau* u. s. w.

n Bezüglich des *Weifs* ist wohl zu beachten, dafs wir weifs diejenigen Körper nennen, die Licht aller Art, so weit unser Auge es wahrnehmen kann, möglichst vollständig reflectiren. Eben deshalb erscheinen sie bei jeder Art der Beleuchtung mindestens ebenso hell, meist heller, als alle farbigen Körper. Dadurch ist der Begriff des *Weifs* als Körpereigenschaft in der Wahrnehmung unzweideutig festgestellt; er ist aber zunächst ganz unabhängig von dem Verhältnifs, in dem die einzelnen Farben im beleuchtenden Lichte gemischt sind, d. h. von dem Farbenton dieser Mischung. In der

at unterscheiden wir bei jeder Art der Beleuchtung weifse Körper sicher
s solche, wenn es auch vorkommen kann, dafs wir Körper für weifs halten,
e bei Sonnenbeleuchtung besehen uns schwach farbig erscheinen, der vor-
r gebrauchten künstlichen Beleuchtung ähnlich. So halten wir bei Kerzen-
leuchtung gelegentlich auch gelbliche Papiere oder Zeuge für weifs.

Nun ist die Sonne bei weitem die reichlichste und mächtigste Licht-
elle, die wir kennen, und bei deren Beleuchtung wir am häufigsten und
eisten unser Auge brauchen, die auch alle Unterschiede der Färbung am
ersten hervortreten läfst, namentlich nach der Seite der blauen Töne. Wir
trachten daher auch als vorzugsweise weifs die Farbe des vollen Sonnen-
hts. Schwache Farbenabweichungen einer andern Lichtquelle von dem
nnenlicht, oder die kleinen Abweichungen in der Färbung des Tageslichts,
e dadurch entstehen, dafs dasselbe bald von der Sonne direct, bald vom
auen Himmel, bald von beleuchteten Wolken, bald von dicken grauen
olkenschichten herrührt, bemerken wir entweder nur bei gröfserer Auf-
erksamkeit, oder auch wohl gar nicht, wenn wir nicht Gelegenheit haben
ie verschiedenen Beleuchtungsweisen unmittelbar hinter einander zu sehen.
Hierbei wirken auch die Ermüdungsvorgänge im Auge mit, die wir in der
ehre von den Nachbildern weiter unten erörtern werden. Bei stark farbiger
eleuchtung ist aber allerdings die Erinnerung an das viel gesehene
onnenlicht in unsrem Gedächtnifs treu genug, um die bestehende Abweichung
der zeitweiligen Beleuchtung zu erkennen.

Wie unsicher und schwankend aber unsre Vorstellung von dem, was wir
Weifs nennen, ist, zeigt sich am deutlichsten, sobald wir versuchen Weifs
durch Mischung von Spectralfarben herzustellen, wenn dabei jedes andre
weifse Licht ausgeschlossen ist. Wenn wir nicht daneben eine Probe von
normalem Weifs des Tageslichts vor Augen haben, mit dem wir die ge-
bildete Mischfarbe vergleichen können, so kommen wir nur zu einer groben
und schwankenden Annäherung an Weifs.

Es ist meines Erachtens daher ungerechtfertigt, wenn man die grofse
Bestimmtheit, welche der Begriff des objectiven Weifs, als Eigenschaft von
Körpern, hat, auch auf die Lichtmischung und entsprechende Empfindung
Weifs übertragen will. Allerdings können die, welche dies thun, Goethe
als Gewährsmann anführen. Als Körperfarbe ist es durch seine Lichtstärke
ausgezeichnet, und als solche mag man es in bildlicher Redeweise als das
ungetrübteste und reinste Licht bezeichnen. Aber wenn wir von der Be-
schaffenheit der objektiven Lichtquellen absehen, so ist bis jetzt noch kein
einziges Kennzeichen aufgefunden worden, wodurch unter den verschiedenen
Abstufungen weifslicher Farbentöne einer als das normale Weifs eine beson-
ders ausgezeichnete Rolle spielte. Da übrigens die thierischen Organe in
der Reihe der Generationen sich ihren am häufigsten eintretenden Aufgaben
anpassen, so ist es allerdings nicht auffallend, dafs die Farbe des Sonnen-
lichtes eine centrale, wenn auch nicht gerade bestimmt zu definirende
Stellung im Farbensystem einnimmt.

281 Das **Schwarz** ist eine wirkliche Empfindung d. h. Wahrnehmung eines bestimmten Zustandes unseres Organs, wenn es auch durch Abwesenheit alles Lichts hervorgebracht wird. Wir unterscheiden die Empfindung des Schwarz deutlich von dem Mangel aller Empfindung. Ein Fleck unseres Gesichtsfeldes, von welchem kein Licht in unser Auge fällt, erscheint uns schwarz; aber die Objecte hinter unserem Rücken, von denen auch kein Licht in unser Auge fällt, mögen sie nun dunkel oder hell sein, erscheinen uns nicht schwarz, sondern für sie mangelt alle Empfindung. Bei geschlossenen Augen sind wir uns sehr wohl bewufst, dafs das schwarze Gesichtsfeld eine Grenze hat, wir lassen es keineswegs sich bis hinter unseren Rücken erstrecken. Nur diejenigen Theile des Gesichtsfeldes, deren Licht wir wahrnehmen können, wenn solches vorhanden ist, erscheinen schwarz, wenn sie kein Licht aussenden.

Dafs Grau identisch sei mit lichtschwachem Weifs, Braun mit lichtschwachem Gelb, Rothbraun mit lichtschwachem Roth, erkennt man am leichtesten durch die prismatische Analyse des Lichts von grauen, blauen oder rothbraunen Körpern, schwerer durch Projection des Lichts von der betreffenden Farbe und Stärke auf einen Schirm, weil wir fortdauernd die Neigung haben zu trennen, was in der Farbe oder dem Aussehen eines Körpers von der Beleuchtung und was von der Eigenthümlichkeit der Körperoberfläche selbst herrührt. Der Versuch mufs deshalb so eingerichtet werden, dafs der Beobachter verhindert wird zu erkennen, es sei eine besondere Beleuchtung vorhanden. Ein graues Papierblatt, welches im Sonnenschein liegt, kann heller aussehen, als ein weifses, welches im Schatten liegt, während doch das erstere grau, das zweite weifs erscheint; denn wir wissen, dafs das weifse Blatt, in den Sonnenschein gelegt, viel heller sein würde, als das graue, welches zur Zeit darin sich befindet. Wenn man aber eine graue Kreisfläche auf weifsem Papier anbringt, und durch eine Sammellinse Licht auf sie concentrirt, ohne dafs das weifse Papier gleichzeitig mitbeleuchtet wird, so kann man das Grau weifser erscheinen lassen, als das weifse Papier, so dafs in diesem Falle sich die Empfindungsqualität durchaus nur als abhängig von der Lichtstärke zeigt.

Ebenso gelang es mir homogenes Goldgelb des Spectrum als Braun erscheinen zu lassen, indem ich mittels einer unten auseinander zu setzenden Methode auf einem weifsen unbeleuchteten Schirme ein rechteckiges Feldchen damit beleuchtete, daneben ein gröfseres Feld des Schirms dagegen mit hellerem weifsen Lichte. Roth in derselben Weise angewendet gab Rothbraun, Grün Olivengrün.

Berücksichtigen wir also noch die Lichtintensität, so finden wir, der oben gemachten Angabe entsprechend, dafs die Qualität eines jeden Farbeneindrucks von drei veränderlichen Gröfsen abhängt, nämlich der **Lichtstärke**, dem **Farbentone** und seinem **Sättigungsgrade**. Andere
282 Unterschiede der Qualität des Lichteindrucks existiren nicht. Man kann dieses Resultat in folgender Weise aussprechen:

)er **Farbeneindruck, den eine gewisse Quantität $x$ beliebig** schten **Lichtes macht, kann stets auch hervorgebracht wer-** lurch **Mischung einer gewissen Quantität $a$ weifsen Lichtes** einer **gewissen Quantität $b$ einer gesättigten Farbe (Spectral-** e **oder Purpur) von bestimmtem Farbentone.**

)ieser Satz beschränkt die Menge der verschiedenartigen Farbeneindrücke, sie auch noch unendlich grofs bleibt, doch auf ein kleineres Maafs, als jede mögliche Combination verschiedener einfacher Lichtstrahlen einen deren Farbeneindruck gäbe. Wollen wir die objective Natur eines ge-ten Lichts vollständig bestimmen, so müssen wir angeben, wieviel von jeder Gröfse der Wellenlänge darin ist. Da es nun unendlich hiedene Wellenlängen giebt, ist die physikalische Qualität eines ge-ten Lichts nur darzustellen als eine Function von unendlich vielen Un-mten. **Dagegen kann der Eindruck, den beliebig gemischtes t auf das Auge macht, immer dargestellt werden als eine** ction **von nur drei Variablen,** die in Zahlen ausgedrückt werden en, nämlich 1) der Quantität gesättigten farbigen Lichts, 2) der Quan-weifsen Lichts, die gemischt dieselbe Farbenempfindung geben, 3) der enlänge des farbigen Lichts. Dadurch gewinnen wir auch endlich ein ip, wonach wir die Farben in eine systematische Ordnung bringen en. Abstrahirt man nämlich zunächst von den Unterschieden der Licht-e, so bleiben noch zwei Veränderliche übrig, von denen die Qualität Farbe abhängt, nämlich der Farbenton und das Verhältnifs des farbigen weifsen Lichte, und wir können uns die Menge der Farben, wie die hiedenen Werthe einer jeden Gröfse, welche von zwei Variablen ab-t, in einer Ebene nach ihren zwei Dimensionen hin ausgebreitet denken. Reihe der gesättigten Farben ist in sich zurücklaufend, sie mufs also einer geschlossenen Curve angebracht werden, für welche NEWTON einen , *Fig. 133*, wählte. Er selbst brachte seinem Farbenkreise nur sieben gesättigte tralfarben in Sectoren an, deren Farben-und Breite er nach einer akustischen ogie wählte. Für den hier verfolgten k dagegen wären die gesättigten Farben ntinuirlichem Übergange längs der Peri-e: und in die Mitte des Kreises Weifs etzen, und auf die Verbindungslinien Mittelpunktes mit den einzelnen Punkten Peripherie die Übergangsstufen zwischen Weifs und der an dem betreffenden te der Peripherie stehenden Farbe anzu-en, so dafs die weifslicheren unter ihnen dem Mittelpunkte, die gesät-i der Peripherie näher stehen. So erhielte man eine **Farbentafel**, die möglichen Arten gleich lichtstarker Farben in ihren continuirlichen 282



*Fig. 133.*

Übergängen geordnet darböte. Wollte man auch noch die verschiedenen Grade der Lichtstärke der Körperfarben berücksichtigen, so müfste man, wie LAMBERT es that, noch die dritte Dimension des Raums zu Hülfe nehmen, und zwar kann man die dunkelsten Farben, bei denen die Zahl der unterscheidbarenTöne immer geringer wird, endlich in eine Spitze, dem Schwarz ent-
283 sprechend, zusammenlaufen lassen. So erhält man eine Farbenpyramide oder einen Farbenkegel. In *Fig. 134* sind drei Querschnitte eines solchen Kegels über einander liegend dargestellt. Der gröfste, der Grundfläche entsprechend, würde dieselbe Farbenvertheilung wie der Farbenkreis *Fig. 133* zeigen müssen. Der mittlere, aus der Mitte des Kegels genommen, zeigt am Rande das Rothbraun, Braun, Olivengrün, Graublau und in seiner Mitte Grau, endlich der kleinste, nahe an der Spitze des Kegels genommen, zeigt Schwarz, wie es die Figur anzeigt.




*Fig. 134.*

„ Geometrische Darstellung des Farbenmischungsgesetzes.

Das Princip einer solchen Darstellung ist zuerst von J. NEWTON hingestellt worden, obgleich er auf der erwähnten in sieben Sectoren getheilten Farbenscheibe nicht gerade die volle Bedeutung desselben darlegen konnte. Er dachte sich nämlich die zu mischenden Farben durch Gewichte dargestellt, die in die Schwerpunkte der zugehörigen Sectoren eingesetzt wurden. Dann construirte er den gemeinsamen Schwerpunkt dieser Gewichte. Dessen Lage zeigt dann den Farbenton der Mischfarbe an, seine Entfernung vom Mittelpunkt den Grad ihrer Sättigung.

Die physiologischen Voraussetzungen, welche der Ausführbarkeit und Richtigkeit eines solchen Verfahrens zu Grunde liegen, hat Herr H. GRASSMANN herausgesondert und hingestellt. Aufser dem schon oben erwähnten Satze, dafs:

283 1) Jede beliebig zusammengesetzte Mischfarbe gleich aussehen müsse, wie die Mischung einer bestimmten gesättigten Farbe mit Weifs, sind dazu noch folgende Sätze nothwendig:

2) Wenn von zwei zu vermischenden Lichtern das eine sich stetig ändert, ändert sich auch das Aussehen der Mischung stetig.

3) Gleich aussehende Farben gemischt geben gleich aussehende Mischungen.

Wenn wir diese drei Grundsätze annehmen, läfst sich eine Anordnung der Farben in einer Ebene herstellen, welche erlaubt die Mischfarbe durch eine Schwerpunktsconstruction zu finden. Wir wollen eine solche Farben-

afel, in welcher die Mischfarben nach dem Princip der Schwerpunkts-constructionen gefunden werden, eine geometrische Farbentafel nennen. Da die Lichtquanta verschiedenfarbigen Lichtes keine allgemein gültige quantitative Vergleichung durch das Auge zulassen, so darf man sich bei der Construction einer solchen Tafel vorbehalten die Einheit der Lichtquantität jeder Farbe durch die NEWTON'sche Regel der Farbenmischung selbst festzusetzen. Wenn man drei Farben beliebig wählt, von denen aber keine durch Mischung der beiden anderen erzeugt werden kann, ihnen drei beliebige Orte in der Farbentafel anweist, die nicht in einer geraden Linie liegen, und die Einheiten ihrer Lichtquanta beliebig festsetzt, so ist nachher der Ort und die Einheit des Lichtquantum jeder anderen Farbe in der Farbentafel fest bestimmt.

Construction der Farbentafel. Wenn die drei Farben $A$, $B$, $C$, von denen man ausgehen will, gewählt, die Einheiten ihrer Lichtmengen und ihre Orte in der Farbentafel bestimmt sind, die wir mit $a$, $b$ und $c$ in *Fig. 135* bezeichnen wollen, so mische man die Quantitäten $\alpha$ der Farbe $A$ und $\beta$ der Farbe $B$, und setze die Mischfarbe in den gemeinschaftlichen Schwerpunkt der 284
Gewichte $\alpha$ und $\beta$, von denen $\alpha$ im Punkt $a$ und $\beta$ im Punkt $b$ befindlich gedacht wird. Der Schwerpunkt $d$ liegt in der Verbindungslinie $ab$ der beiden Gewichte und zwar so dafs

$$\alpha \cdot ad = \beta \cdot bd.$$

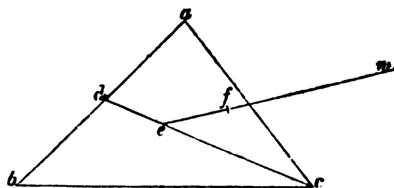


*Fig. 135.*

So liegen denn überhaupt alle Mischfarben von $A$ und $B$ auf der Linie $ab$. Soll nun mit den Quantitäten $\alpha$ und $\beta$ der Farben $A$ und $B$ auch noch die Quantität $\gamma$ der Farbe $C$ gemischt werden, so können wir erst $\alpha$ und $\beta$ wie vorher gemischt denken, die Mischfarbe, deren Quantität mit $(\alpha + \beta)$ bezeichnet werden mufs, in $d$ eingesetzt, und nun den Schwerpunkt $e$ der beiden Gewichte $(\alpha + \beta)$ in $d$ und $\gamma$ in $c$ construiren, welcher in der Linie $cd$ liegen mufs. Hier ist der Ort der gemeinsamen Mischfarbe, deren Quantität $\varepsilon$ gesetzt werden mufs

$$\varepsilon = \alpha + \beta + \gamma.$$

Dadurch ist auch die Einheit des Lichtquantum für diese Farbe bestimmt; diese ist

$$1 = \frac{\varepsilon}{\alpha + \beta + \gamma}.$$

Es ist dabei ersichtlich, dafs jede aus den drei Farben $A$, $B$, $C$ mischbare Farbe innerhalb des Dreiecks $abc$ liegen mufs; für jede ist in der angegebenen Weise Ort und Einheit der Lichtmenge zu bestimmen.

Denkt man sich die Orte und Maafseinheiten aller aus den drei Farben $A$, $B$ und $C$ mischbaren Farben bestimmt, so kann man nun auch die Orte und Maafseinheiten der aus $A$, $B$ und $C$ nicht mischbaren Farben bestimmen. Es sei $M$ eine solche Farbe. Man kann jedenfalls eine so kleine Quantität $\mu$ dieser Farbe wählen, dafs, wenn man sie mit einer der Farben des Dreiecks mischt, die Mischfarbe auch noch innerhalb des Dreiecks liegt. Man mische sie z. B. mit der Quantität $\varepsilon$ (diese nach der schon festgesetzten Einheit gemessen) der in $e$ befind-

Übergängen geordnet darböte. Wollte man auch noch Grade der Lichtstärke der Körperfarben berücksichti wie LAMBERT es that, noch die dritte Dimension des Ra und zwar kann man die dunkelsten Farben, bei denen d baren Töne immer geringer wird, endlich in eine Sp
285 sprechend, zusammenlaufen lassen. So erhält man oder einen Farbenk Querschnitte eine ander liegend d Grundfläche en Farbenvertheil zeigen müssen des Kegels Rothbraun. I in seiner M nahe an d zeigt Sch

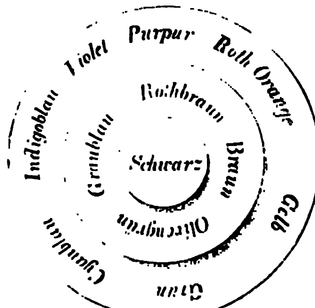


Fig. 124.

Geometrische Darstellung de

Das Princip einer solchen Dars stellt worden, obgleich er auf der Farbenscheibe nicht gerade die voll Er dachte sich nämlich die zu mis die in die Schwerpunkte der zug construirte er den gemeinsamen zeigt dann den Farbenton der M punkt den Grad ihrer Sättigun

Die physiologischen Vora Richtigkeit eines solchen Verfa herausgesondert und hingeste dafs:

287 1) **Jede beliebig** z sehen müsse, wi tigten Farbe mi wendig;

2) **Wenn von zwei** stetig ändert, stetig.

3) **Gleich** aussehende Misch sehende Misch

Wenn diese dr der Farb einer Eb eine Sch sconst

...d $Y$ des Ortes der letzteren
durch die Gleichungen

$$\ldots + (\beta_0 + \beta_1)\, x_b + (\gamma_0 + \gamma_0)\, x_c$$
$$\ldots y_a + (\beta_0 + \beta_1)\, y_b + (\gamma_0 + \gamma_0)\, y_c$$

...en sechs Gleichungen $x_a$, $x_b$, $x_c$ und

$$\ldots = \varepsilon_0\, x_0 + \varepsilon_1\, x_1$$
$$\ldots = \varepsilon_0\, y_0 + \varepsilon_1\, y_1$$

... Mischfarbe von $\varepsilon_0$ und $\varepsilon_1$ sind dieselben, wie die ... $\varepsilon_1$.

...antität $q$ der Mischung von $\varepsilon_0$ und $\varepsilon_1$ muſs wiederum ...tät, welche bei Mischung der gleichaussehenden Quanti... einerseits und $(\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1)$ andererseits entsteht, d. h.

$$\ldots \beta_0 + \gamma_0 + \alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1 = \varepsilon_0 + \varepsilon_1,$$

... der gegebenen Constructionsregel für alle aus $A$, $B$ und $C$ ... auf der in gesagter Weise construirten Farbentafel erwiesen ist.

...an zwei nicht aus $A$, $B$ und $C$ mischbare Farben $M_0$ und ...scht werden sollen. Es seien $x_0$, $y_0$ die Coordinaten, $\mu_0$ die Quan... Farbe $M_0$, $x_1$ und $y_1$ seien die Coordinaten, $\mu_1$ die Quantität der Farbe 286
... sei der Ort von $M_0$ in der Farbentafel dadurch gefunden worden, daſs ...Quantität $\mu_0$ mit der Quantität $\varepsilon_0$ der im Punkte $e$ befindlichen Farbe $E$ ge... die Quantität $\varphi$ der in $f$ befindlichen Farbe $F$ gegeben hat, so ist

$$\varepsilon_0 + \mu_0 = \varphi$$
$$\varphi\, x_f = \varepsilon_0\, x_e + \mu_0\, x_0$$
$$\varphi\, y_f = \varepsilon_0\, y_e + \mu_0\, y_0.$$

...so sei der Ort der Farbe $M_1$ dadurch gefunden worden, daſs $\mu_1$ gemischt ...er Quantität $\varepsilon_1$ der Farbe $E$ die Quantität $\psi$ der im Punkte $g$ befindlichen ... $G$ gegeben hat. Es ist

$$\varepsilon_1 + \mu_1 = \psi$$
$$\psi\, x_g = \varepsilon_1\, x_e + \mu_1\, x_1$$
$$\psi\, y_g = \varepsilon_1\, y_e + \mu_1\, y_1.$$

...en Ort der Mischfarbe von $\mu_0$ und $\mu_1$ in derselben Weise zu bestimmen, ... man diese mit der Quantität $\varepsilon_0 + \varepsilon_1$ der Farbe $E$. Dies kommt aber ...GRASSMANN's drittem Satze darauf hinaus, daſs man die Quantitäten $\varphi$ und $\psi$ ...arben $F$ und $G$ mischt. Die Coordinaten dieser Mischfarbe seien $\xi$ und $v$, ...en durch die Gleichungen

$$(\varphi + \psi)\,\xi = \varphi\, x_f + \psi\, x_g$$
$$(\varphi + \psi)\, v = \varphi\, y_f + \psi\, y_g.$$

...sind die Coordinaten $X$ und $Y$ der Mischfarbe von $\mu_0$ und $\mu_1$, deren noch ...immte Quantität mit $\eta$ bezeichnet werde, gegeben durch die Gleichungen

$$(\varphi + \psi)\,\xi = (\varepsilon_0 + \varepsilon_1)\, x_e + \eta\, X$$
$$(\varphi + \psi)\, v = (\varepsilon_0 + \varepsilon_1)\, y_e + \eta\, Y$$
$$\varphi + \psi = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 + \eta.$$

Indem man mit Hülfe der früheren Gleichungen hieraus $\varphi$, $\psi$, $x_e$ und $y_e$ eliminirt, erhält man:

$$\mu_0 x_0 + \mu_1 x_1 = \eta X$$
$$\mu_0 y_0 + \mu_1 y_1 = \eta Y$$
$$\mu_0 + \mu_1 = \eta,$$

wonach die Mischfarbe von $\mu_0$ und $\mu_1$ wirklich, wie verlangt wurde, im Schwerpunkte beider Massen liegt, und ihre Quantität der Summe beider Quantitäten gleich ist.

C. W[illegible] aus A. B. C mischbare und eine nicht mischbare Farbe [illegible] ist ähnlich zu verfahren, wie im Falle B. Es sei $\mu_0$ die Menge der aus A. B. C nicht mischbaren Farbe und ihre Coordinaten $x_0$, $y_0$ [illegible] dass sie mit der Quantität $\varepsilon_0$ der im Punkte E [illegible] Farbe gemischt. Die Quantität $\varphi$ der in F stehenden Farbe gegeben [illegible]

$$\mu_0 x_0 + \varepsilon_0 x_e = \varphi x_f$$
$$\mu_0 y_0 + \varepsilon_0 y_e = \varphi y_f$$
$$\mu_0 + \varepsilon_0 = \varphi.$$

Der [illegible] der Mischfarbe $\eta$ aus $\mu_0$ und einer aus A. B. C mischbaren Farbe $\mu_1$ [illegible] ergiebt sich, indem man $\eta$ mit $\varepsilon_0$ mischt, und dann nach [illegible] Constructionsregel weiter verfährt. Da aber $\eta$ aus $\mu_0$ und $\mu_1$ zu[illegible] ist, kann man auch zuerst $\mu_0$ und $\varepsilon_0$ mischen, wobei man nach der [illegible] die Quantität $\varphi$ der in F stehenden Farbe erhält, und dann $\varphi$ mit $\mu_1$ [illegible] gemeinsame Schwerpunkt beider ist der Ort der Mischfarbe von $\eta$ und [illegible] $\xi$ und $\upsilon$ sind durch folgende Gleichungen gegeben:

$$[illegible] \xi = [illegible] - \mu_1 x_1$$
$$[illegible] \upsilon = [illegible] - \mu_1 y_1.$$

[illegible] X und Y [illegible] sind nun nach der aufgestellten Constructions[illegible]

$$[illegible] \xi [illegible] X - [illegible] x$$
$$[illegible] Y - [illegible] y$$
$$[illegible] - [illegible]$$

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible] des Ortes der aus A. B. C nicht misch[illegible] mit einer einzigen Farbe E angewendet. [illegible] jeder anderen Farbe G die[illegible] würde.

[illegible] der Form der Farbentafel.

[illegible] welche Gestalt die Curve

**ahen werde, in welche bei einer solchen Construction die einfachen Farben u stehen kommen. Diese Curve wird, abgesehen von individuellen Verchiedenheiten der Beobachter, je nach der Wahl der drei Farben, mit denen nan die Construction beginnt, und ihrer drei Maafseinheiten, die man willührlich festsetzt, sehr mannigfach sein können. Eine Maafseinheit mufs mmer willkührlich bleiben, ebenso die Lage zweier Punkte, in die man wei der gewählten Farben setzt. Erst von den anderen 4 Stücken hängt ann die Form jener Curve ab. Man kann also noch vier Bedingungen festetzen, welche sich im allgemeinen durch eine entsprechende Wahl der ier anderen willkührlich gebliebenen Gröfsen werden erfüllen lassen. So ürde man z. B. verlangen können, dafs in der Farbentafel die Entfernung auf beliebig gewählter einfacher Farben vom Weifs gleich grofs sein solle. Is würde alsdann die Grenzcurve der Farbentafel, welche die einfachen 'arben enthält, sich kaum merklich von Newton's Kreise unterscheiden, wie r in *Fig. 133* dargestellt ist, nur würde zwischen dem äufsersten Roth nd Violet die Sehne, welche dort gezeichnet ist, statt des Bogens die Fläche begrenzen müssen, weil das Purpur, welches nur aus den beiden geannten Farben gemischt werden kann, auf der geraden Verbindungslinie eider Farben liegen müfste. Aufserdem folgt aus den Principien der Contruction, dafs jede zwei Complementärfarben an entgegengesetzten Enden ines Durchmessers des Kreises liegen müssen, weil die Mischfarbe Weifs mmer in der Verbindungslinie derjenigen Farben liegen mufs, aus denen sie emischt ist. Diese Bedingung ist auch in *Fig. 133* erfüllt.**

Was die festzusetzenden Maafseinheiten der Lichtquanta verschieden- 288 'arbigen Lichts betrifft, so würden für diesen Fall, wo man das Farbenfeld lurch eine Kreislinie begrenzen läfst, complementäre Mengen der Complenentärfarben, d. h. solche Mengen, welche gemischt weifs geben, als gleich rofs angesehen werden müssen, weil nach der Voraussetzung ihre Mischabe Weifs gleich weit von ihnen entfernt liegt. Der Schwerpunkt zweier ewichte kann aber nur dann im Mittelpunkte ihrer Verbindungslinie liegen, enn die Gewichte gleich sind. Ferner würden von anderen nicht complentaren Farben solche Mengen als gleich grofs angesehen werden, welche it einer genügenden Quantität ihrer Complementärfarbe vereinigt gleiche uantitäten Weifs geben. Aus dem, was ich früher über die verschiedene ättigung der Spectralfarben angeführt habe, geht schon hervor, dafs die uantitäten, welche hier als gleich betrachtet werden, dem Auge durchaus cht gleich hell erscheinen. Im nächsten Paragraphen indessen wird sich igen, dafs Vergleichung der Helligkeit verschiedener Farben durch das ıge bei verschiedener absoluter Lichtstärke nicht ganz übereinstimmende sultate ergiebt, während im Gegentheil, soweit Grassmann's Gesetze gelten, ie Festsetzung der Maafseinheiten verschiedener Farben durch die Erbnisse der Farbenmischung von der absoluten Helligkeit unabhängig in mufs.

Will man dagegen in der Farbentafel als gleich grofs solche Quantitäten verschiedenfarbigen Lichts betrachten, welche dem Auge wenigstens innerhalb gewisser Grenzen der Lichtintensität als gleich hell erscheinen, so erhält die Curve der einfachen Farben nach meinen älteren Beobachtungen[1] eine ganz andere Gestalt ähnlich wie in *Fig. 136*. Die gesättigten Farben Violet und Roth müssen weiter vom Weifs entfernt sein, als ihre weniger gesättigten Complementärfarben, weil nach dem Urtheile des Auges bei der Mischung von Gelbgrün und Violet zu Weifs die Quantität violetten Lichtes viel kleiner ist, als die des gelbgrünen, und wenn das Weifs im Schwerpunkte beider liegen soll, die kleinere Quantität Violet an einem gröfseren Hebelarme wirken mufs, als die gröfsere Lichtmenge des Gelbgrün. Übrigens würden auch hier wieder die Spectralfarben an der Peripherie der Curve, das Purpur auf einer Sehne stehen müssen, Complementärfarben an den entgegengesetzten Enden von Sehnen, welche durch den Ort des Weifs gelegt sind, wie bei der kreisförmigen *Fig. 133*.




*Fig. 136.*

Die Zurückführung des Farbenmischungsgesetzes auf Schwerpunktsconstructionen wurde zuerst von Newton nur als eine Art mathematischen Bildes vorgeschlagen, um die grofse Menge der Thatsachen dadurch auszudrücken, und er stützte sich nur darauf, dafs die Folgerungen aus jener Darstellung qualitativ mit den Erfahrungsthatsachen übereinstimmten, ohne dafs er quantitative Prüfungen ausgeführt hätte. Dergleichen quantitative Prüfungen sind in neuerer Zeit zunächst von Maxwell vorgenommen worden. Er verfertigte sich eine Reihe Kreissectoren von gröfserem, eine andere von kleinerem Radius, welche mit Pigmenten (Zinnober, hellem Chromgelb,
289 Pariser Grün, Ultramarin, Weifs und Schwarz) überzogen waren, und befestigte dieselben so auf einer rotirenden Scheibe, dafs beliebige gröfsere und kleinere Stücke der einzelnen Sectoren sichtbar wurden, und zwar wurde in der Mitte der Scheibe eine andere Zusammenstellung gemacht als am Rande. Die Breite der Sectoren wurde so lange abgeändert, bis beide Farbenmischungen bei schneller Rotation der Scheibe ganz gleich erschienen, dann der Winkel bestimmt, in dem die einzelnen Sectoren sichtbar waren. So lassen sich unzählig viele Farbenzusammenstellungen machen, und das Mischungsgesetz läfst sich an ihnen prüfen. Der Sinn dieser Prüfung läfst sich unserer bisher gewählten Darstellungsweise gemäfs folgendermafsen deutlich machen. Man construire eine Farbentafel, in welcher drei von den Farben der Scheibe, z. B. Roth, Grün und Blau, als Grundfarben be-

[1] In wie weit die Helligkeit und die Unterschiedsempfindlichkeit der Farben in der Farbentafel ausgedrückt werden kann siehe § 21.

rachtet, ihre Helligkeiten gleich der willkürlichen Maafseinheit gesetzt verden. Dann sind bei jedem Mischungsversuche aus diesen drei Farben lie angewendeten Helligkeiten derselben gleich dem Bogen ihres Sectors lividirt durch die Kreisperipherie zu setzen. Zuerst wird es möglich sein, us den drei Farben ein Grau zusammenzusetzen, und gleich zu machen inem aus Schwarz und Weifs zusammengesetzten Grau. Dadurch bestimmt ich die Stelle und Maafseinheit des Weifs in der Farbentafel. Dann wird s möglich sein, aus Roth und Grün einerseits, Gelb, Weifs und Schwarz ndrerseits zwei gleiche graugelbe Mischungen zu erzeugen, und dadurch ach der oben gegebenen Constructionsregel den Ort und die Maafseinheit es Gelb in der Farbentafel zu bestimmen. Sobald dies geschehen ist, ifst sich durch Construction in der Farbentafel oder Rechnung für jede ndere Mischung aus drei von den fünf Farben Roth, Gelb, Grün, Blau, Veifs vollständig berechnen, wie dieselbe aus anderen drei zusammengesetzt erden kann, und dies am Versuche prüfen, so dafs jede solche Prüfung eine rüfung der Principien ist, auf welche die Schwerpunktsconstructionen bei ler Farbenmischung gegründet sind. MAXWELL hat die Versuche in guter bereinstimmung mit dem Gesetze gefunden. Viel empfindlichere und n chärfere messende Prüfungen lassen sich mit Hülfe von Spectralfarben ausühren: die Methoden für die praktische Durchführung dieser Messungen verden unten beschrieben werden.

Grundfarben. Wir haben gesehen, dafs alle Verschiedenartigkeit des 289
Lichteindrucks als die Function dreier unabhängig veränderlicher Gröfsen betrachtet werden kann, und hatten bisher als solche Veränderlichen 1. die Lichtstärke, 2. den Farbenton und 3. die Sättigung bezeichnet oder auch 1 die Quantität Weifs, 2. die Quantität, 3. die Wellenlänge einer Spectralfarbe. Statt dieser drei Variablen kann man aber auch andere drei einführen, wie dies schon in den gegebenen Constructionsregeln geschah, indem man alle Farben als Mischungen von veränderlichen Quantitäten dreier Farben, der sogenannten drei Grundfarben, betrachtet, zu welchen man früher meistens Roth, Gelb und Blau wählte. Wenn man diese Lehre objectiv auffassen wollte, d. h. behaupten, es gäbe im Spectrum drei objective einfache Farben, durch deren Zusammensetzung man einen gleichen Eindruck auf das Auge hervorbringen könnte, wie durch jedes beliebige andere einfache oder zusammengesetzte Licht, so wäre dies unrichtig. Es giebt keine solche drei einfachen Farben, durch deren Zusammensetzung man auch nur erträglich die zwischenliegenden Farben des Spectrum nachbilden könnte. Die letzteren erscheinen immer viel gesättigter, als die zusammengesetzten Farben. 290
Am wenigsten passen dazu Roth, Gelb und Blau, denn wenn man als Blau eine dem Farbentone des Himmels ähnliche Farbe wählt, und nicht ein dem Grünlichen sich näherndes Blau, so kann man durch Mischung dieser Farben gar kein Grün erhalten; nimmt man ein grünliches Gelb und ein grünliches Blau, so erhält man nur ein sehr weifsliches Grün. Diese drei Farben konnten nur so lange gewählt werden, als man, auf die Mischung der Pig-

mentfarben vertrauend, fälschlich meinte, gelbes und blaues Licht gebe Grün. Erheblich besser geht es, wenn man als Grundfarben Violet, Grün und Roth wählt. Aus Violet und Grün kann man Blau mischen, aber freilich nicht das gesättigte Blau des Spectrum, und aus Grün und Roth kann man ein mattes Gelb zusammensetzen, was sich aber ebenfalls auf den ersten Blick von dem glänzenden Gelb des Spectrum unterscheidet.

Denken wir uns die Farben nach der oben geschilderten Methode in eine Farbentafel eingetragen, so ist aus der dort gegebenen Constructionsregel klar, dafs alle Farben, welche aus drei gegebenen zu mischen sind, in dem Dreieck liegen müssen, dessen Ecken mit dem Orte der drei Grundfarben in der Farbentafel zusammenfallen. So würde in dem nebenstehenden Farbenkreise *Fig. 137*, in welchem die Farben durch ihre Anfangsbuchstaben bezeichnet sind (I = Indigoblau, C = Cyanblau), das Dreieck *RCG* alle Farben umfassen, welche aus Roth, Cyanblau und Gelb zusammenzusetzen sind. Dabei fallen wie man sieht zwei grofse Stücke des Kreises weg, es würde nur sehr weifsliches Violett und sehr weifsliches Grün herzustellen sein. Wählten wir aber statt Cyanblau die Farbe des blauen Himmels, das Indigblau, so würde das Grün ganz wegfallen. Das Dreieck *VRGr* enthält die aus Violet, Roth, Grün mischbaren Farben, und würde schon eine gröfsere Zahl der vorhandenen Farben vertreten. Aber wie man in der Figur sieht, fehlen noch immer beträchtliche Fragmente des Kreises, übereinstimmend mit den angeführten Erfahrungen über Mischung von Spectralfarben, aus denen eben folgt, dafs die Grenzkurve der Farbentafel eine von den Seiten des Dreiecks merklich abweichende krumme Linie sein müsse.

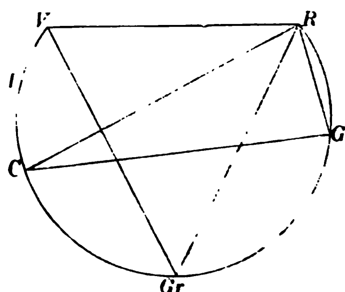


*Fig. 137.*

Die objective Natur dreier Grundfarben hat BREWSTER zu vertheidigen gesucht, indem er behauptete, für jeden Grad der Brechbarkeit der Lichtstrahlen existirten drei verschiedene Arten Licht, rothes, gelbes und blaues, welche nur in verschiedenen Verhältnissen gemischt seien, so dafs dadurch die verschiedenen Farben des Spectrum entständen. Die Spectralfarben seien also noch zusammengesetzt aus dreierlei qualitativ verschiedenen Lichtarten, deren Strahlen aber für jede einzelne einfache Farbe denselben Grad von Brechbarkeit hätten. Durch absorbirende farbige Medien sollte sich nach BREWSTER Licht aller drei Grundfarben in den verschiedenen einfachen Farben nachweisen lassen. Dafs diese letztere Behauptung, auf welcher seine ganze Beweisführung ruht, nicht richtig sei, ist schon im vorigen Paragraphen S. 308 besprochen.

NEWTON's Schwerpunktsconstruction, welche wir bisher angewendet haben, ist, wie die besprochene Zerlegung in Grundfarben deutlich erkennen läfst, nur ein

rauschaulichendes Bild für eine viel allgemeiner vorkommende Form des Zu-mmenwirkens qualitativ unterschiedener Gröfsen, welcher, wie ebenfalls H. GRASS-ANN[1] in sehr allgemeiner Weise gezeigt hat, die wesentlichen Kennzeichen der ddition zukommen. Das erste wichtige Beispiel einer additiven Verknüpfung n nicht homogenen Gröfsen war durch GAUSS gegeben worden, indem er den mplexen Gröfsen der Algebra geometrischen Sinn unterlegte. In andrer Form weitert, kehrt dasselbe wieder in der von B. HAMILTON entwickelten Lehre von n Quaternions.

Als Addition kann im allgemeinen jede Art der Verknüpfung physikalischer er geometrischer Gröfsen bezeichnet werden, deren Ergebnifs eindeutig und un-hängig ist von irgend welcher Reihenfolge, in der die zu verknüpfenden Gröfsen h darbieten, unabhängig auch von der Reihenfolge, in welcher die einzelnen rgeschriebenen Verknüpfungsacte nach einander ausgeführt werden. Endlich ist i einer additiven Verknüpfung von Gröfsen zu fordern, dafs die Summe ihren heilen gleichartig sei, d. h. dafs über die Gleichheit oder Ungleichheit der Summe it ihren Theilen oder anderen ähnlichen Summen durch dasselbe Verfahren ent-hieden werden kann, wie über die Gleichheit oder Ungleichheit der Theile unter-nander.[2]

In diesem Sinne ist die Mischung zweier Farben als eine additive Verknüpfung arakterisirt. Über ihre physiologische Gleichheit entscheidet nur das Auge; eichaussehende Lichtmischungen sind physiologisch als gleiche Farben zu be-achten; in welcher Weise jede derselben aus anders aussehenden Farben vorher sammengesetzt worden sei, darauf kommt es nicht mehr an. Für das End-gebnifs ist es gleichgültig, ob ich Roth zu Blau oder Blau zu Roth setze, wie i der Addition $a + b = b + a$. Es kommt nicht darauf an, ob ich Roth und rün erst zu Gelb verbinde, und dann dieses oder ein gleich aussehendes Gelb it Violet zu Weifs verbinde; oder ob ich andrerseits ebensoviel Grün und Violet erst i Blau zusammenfüge, und dann dieses, beziehlich ein gleich aussehendes Blau, mit oviel Roth wie im ersten Falle zu Weifs. Das Resultat ist dasselbe wie bei der ddition

$$(a + b) + c = a + (b + c)$$

ndlich sind die Ergebnisse der Verbindung Mischfarben, über deren Gleichheit it andern Mischfarben oder den ursprünglichen Farben ebenso wieder durch ergleichung der von ihnen erregten Empfindung, durch das gleiche Aussehen zu tscheiden ist, wie bei allen farbigen Feldern. Die Mischfarbe als Summe ist ne ihren Theilen gleichartige Gröfse.

Alle ursprüngliche Bestimmung von physikalischen und geometrischen Gröfsen ruht nun, wie ich l. c. zu zeigen versucht habe, darauf, dafs man additive Ver-üpfungsweisen derselben zu finden wisse. Sobald man diese kennt, kann man ei gleiche Gröfsen derselben Art zusammenfügen, und dadurch eine von doppelter, eifacher etc. Gröfse herstellen. Man kann dann die Gröfsen durch benannte hlen definiren, d. h. man kann sie messen.

Nun giebt es aber Gröfsen, die erst durch mehrfache Bestimmungsstücke voll-ndig gegeben sind, wie z. B. die geradlinige Strecke, um welche ein Punkt aus

[1] H. GRASSMANN, Die Ausdehnungslehre von 1844. 2. Aufl. Leipzig, 1878. Darin Begriff des rerpunkts (Mitte eines Punktsystems) erörtert S 42–47.
[2] H. v HELMHOLTZ, „Zahlen und Messen erkenntnisstheoretisch betrachtet“ in: Philosophische ätze. EDUARD ZELLER gewidmet. Leipzig. Fues. 1887.

einer ersten Lage in eine zweite fortbewegt worden ist. Es genügt nicht ihre Länge zu kennen, sondern auch ihre Richtung mufs gegeben sein, was durch zwei Winkel, die sie mit bekannten Richtungen macht, geschehen kann; im Ganzen also gehören dazu drei mefsbare Gröfsen. Statt dessen kann ich aber auch angeben, wenn ich meinen eigenen Körper als feststehend denke, um wieviel der Punkt nach oben, um wieviel nach rechts, um wie viel nach vorn verschoben sei. Um die neue Lage des Punktes vollständig zu geben, sind drei Bestimmungsstücke nöthig und im Allgemeinen auch genügend. Verschöbe sich der Punkt in einer Ebene, so wären zwei solche Abmessungen nöthig und genügend. Deshalb schreibt man dem Raume drei, der Ebene zwei Dimensionen zu, oder nach der von RIEMANN eingeführten Terminologie ist der Raum eine Mannigfaltigkeit von drei Dimensionen, die Ebene eine solche von zwei Dimensionen. In diesem Sinne nun sehen wir, dafs der Inbegriff aller möglichen Farben einer Mannigfaltigkeit von drei Dimensionen entspricht, die nur in einem räumlichen Volumen von drei Dimensionen, wie in LAMBERT's Pyramide so anzuordnen wäre, dafs jede Farbe ihren besonderen Ort findet, und ähnliche Farben einander um so näher liegen, je ähnlicher sie sind. Dagegen wenn wir uns auf den Inbegriff der Farben von gleichem Lichtquantum beschränken, bilden diese eine Mannigfaltigkeit von zwei Dimensionen, welche man in einer ebenen Farbentafel abbilden kann. Die Gewichte werden in der Farbentafel nur zu Hülfe genommen, um die dritte unabhängige Variable auch für Constructionen in der Ebene ausdrücken zu können. Und die Schwerpunktsconstruction wird hierbei nur deshalb herbeigezogen, weil auch sie ein additiver Procefs in der Ebene ist.

Denn wenn ich zwei Massen $m_1$ und $m_2$ in der Ebene habe, und $x_1 y_1$ die Coordinaten der ersten, $x_2 y_2$ die der zweiten, $\xi$ und $\zeta$ die ihres Schwerpunkts sind, so sind wie schon S. 328 bemerkt, diese zu finden durch die Gleichungen

$$(m_1 + m_2) \,.\, \xi = m_1 \,.\, x_1 + m_2 \,.\, x_2$$
$$(m_1 + m_2) \,.\, \zeta = m_1 \,.\, y_1 + m_2 \,.\, y_2$$

oder wenn wir viele solche Massenpunkte haben und mit $\Sigma$ die Summe aller entsprechenden Gröfsen bezeichnen

$$\xi \,.\, \Sigma(m) = \Sigma(mx)$$
$$\eta \,.\, \Sigma(m) = \Sigma(my)$$

Für das Resultat, den Ort des Schwerpunkt kommt es hierbei also nicht blos auf die Gröfse jeder Masse, sondern auch auf ihren Ort in der Tafel an. Ebenso bei den Farben, wenn wir deren besondere Qualität durch den Ort in der Tafel bezeichnen.

Darstellung der Farben durch geometrische Strecken. In NEWTON's Construction wird also nur ein additiver Procefs durch einen andern bildlich dargestellt, in welchem Gröfsen von derselben Anzahl von Dimensionen sich verbinden. Dafür könnte aber jede andre additive Verknüpfung ebenso gewählt werden. Nicht selten erweist es sich als vortheilhaft, nach dem Vorbild von LAMBERT's Farbenpyramide ein rechtwinkliges Coordinatensystem zu benutzen, und die Quanta dreier Grundfarben als Coordinaten $x$, $y$, $z$ längs der drei Axen aufzutragen, und indem wir das rechtwinklige Parallelepipedon, dessen drei Seiten $x$, $y$, $z$ sind, vervollständigen, die dem Nullpunkte des Coordinatensystems gegenüberliegende neuentstehende Ecke als Ort der Mischfarbe anzusehen. Die vom Nullpunkt nach dieser Stelle gezogene gerade Linie würde durch ihre Länge den Lichtwerth, durch ihre Richtung die Art der Farbe anzeigen. Alle aus den drei Grundfarben mischbaren Lichter würden demnach in der einen rechtwinkeligen Ecke des Raumes liegen, die zwischen

iven Hälften der drei Coordinataxen liegt. Wenn wir durch Punkte der axen, welche um gleiche Distanzen $c$ von dem Nullpunkt entfernt sind, ne legen, so schneidet diese die Grenzebenen der rechtwinkeligen Ecke in h langen geraden Linien und bildet die Basis einer dreikantigen Pyramide, itze der Nullpunkt ist; sie entspricht LAMBERT's Farbenpyramide. Die ene, so weit sie in der genannten Ecke liegt, würde die Form eines igen Dreiecks haben, und von allen den geraden Linien, die von dem ausgehen und die den verschiedenen Farben entsprechen sollen, geschnitten Jeder Schnittpunkt einer dieser Linien mit der Ebene des Dreiecks würde der entsprechenden Farbe in diesem anzeigen, und zwar würde die Verder einzelnen Farben darin genau der durch Schwerpunktsconstructionen ren Ordnung entsprechen. In jeder solchen Ebene würden aber nur ewisser Helligkeit angeordnet sein, welche durch die Summe der Werthe $+ z)$ gegeben ist. Die Gleichung der genannten Ebene wäre nämlich

$$x + y + z = c \, . \sqrt{3}.$$

n zwei Farben, deren eine die Coordinaten $x$, $y$, $z$ hat, die andere gemischt werden, so würde bei ihrer Verbindung die Mischfarbe die en $(x + \xi)$, $(y + \eta)$ $(z + \zeta)$ erhalten. In *Fig. 138* ist eine solche ng wenigstens für zwei Coordinaten dargestellt. Wenn die eine Farbe durch die andre durch $oc = \varrho$ t wird, und man $\varrho$ gleich llel $oc$ von $a$ aus nach ägt, so hat die Strecke jectionen $(x + \xi)$, $(y + \eta)$, . und repräsentirt in SMANN's Sinne die geo- Summe der Strecken $b = oc$. Man sieht leicht, Strecke $ob$ auch die Dia- Parallelogramms ist, von i Seiten in $oa$ und $oc$ sind. Die Art der Ver- beider ist also dieselbe, ler Construction der Re- zweier zu componirenden der Geschwindigkeiten.

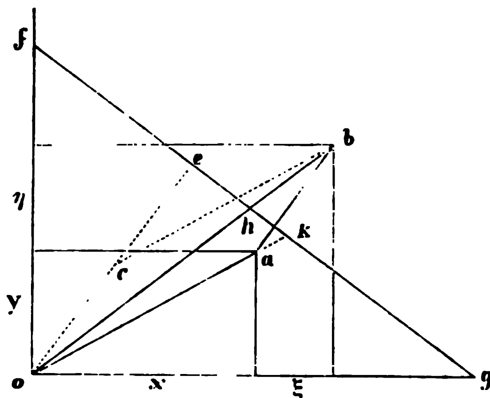


Fig. 138.

reinstimmung dieser Construction der Resultante mit der des Schwerpunkts.

nd eine Schnittfläche, die in der Linie $fg$ (*Fig. 138*) die Zeichnung schneidet, den Linien $oa$ und $oc$ in $k$ und $e$ getroffen werden, wobei die Längen $ok$ ach gleichzeitig die Gewichtseinheiten der in der Ebene $fg$ zu construirenden el darstellen sollen. Wie der Schwerpunkt zweier in $e$ und $k$ angebrachten ufs auch der Schnittpunkt $h$ der Resultante $ob$ zunächst in der geraden durch $k$ ogenen Linie liegen. Dann ergiebt sich aus bekannten trigonometrischen Sätzen

$$ao : ab = \sin (oba) : \sin (boK)$$

$$r : \varrho = \sin hoc : \sin (hoa) .$$

Ferner ist

$$kh : ko = \sin (hoa) : \sin (ohk)$$
$$eh : eo = \sin (eoh) : \sin (ohe)$$

Da $(kho)$ und $(eho)$ Nebenwinkel sind, sind ihre Sinus einander gleich. Folglich

$$\frac{eo \cdot kh}{ko \cdot eh} = \frac{\sin (hoa)}{\sin (eoh)} = \frac{\varrho}{r}$$

$$\frac{r}{ko} \cdot kh = \frac{\varrho}{eo} \cdot eh$$

Da die Verhältnisse $\frac{r}{ko}$ und $\frac{\varrho}{eo}$ die Lichtmengen, gemessen durch die in der Farbentafel zu brauchenden Gewichtseinheiten darstellen, so entspricht diese letzte Bestimmung des Ortes der Mischfarbe $h$ in der ebenen Farbentafel ganz der Regel bei den Schwerpunktsconstructionen.

Übrigens gilt dieser letzte Beweis für jede in beliebiger Richtung durch drei Punkte der positiven Coordinataxen gelegte Schnittebene, welche Dreiecke von sehr verschiedenen Formen darbieten könnte, deren jedes eine mögliche Form der Farbentafel darstellen würde. Wenn man sich die geometrische Farbentafel auf einer elastischen Platte dargestellt dächte, die man in irgend einer beliebig gewählten Richtung gleichmäßig ausdehnt, würde man eine ähnliche Reihe von Gestaltveränderungen erhalten; doch würde jede dieser Farbentafeln noch richtig bleiben. Wir werden zunächst also noch zu überlegen haben, was das Bleibende in diesen Veränderungen ist.

### Einfluſs der Lichtquellen auf die Farbengleichungen.

Wenn man Farbengleichungen mit Körperfarben herzustellen sucht, wird man bald eine groſse Veränderlichkeit derselben nach der Art der Beleuchtung erkennen. Ja die Unterschiede zwischen Tageslicht und Lampenlicht sind hierbei außerordentlich groſs. Da gefärbte Körper fast ausnahmslos Licht aus sehr breiten Theilen des Spectrum hindurchgehen lassen, hängt die Mischung des von ihnen reflectirten oder durchgelassenen Lichts in hohem Grade von der Mischung des beleuchtenden Lichtes ab und ändert sich mit dieser. Im Allgemeinen sendet leuchtende Körper desto mehr blaues und violettes Licht aus, je höher ihre Temperatur ist; die Sonne am meisten. Eben deshalb überwiegen in dem Lichte der gewöhnlichen Flammen die rothen und gelben Strahlen, und sowohl die Substanz des Brennstoffs, wie die Regulirung des Verbrennungsprocesses haben sehr erkennbaren Einfluſs auf die relative Lichtstärke der verschiedenen Spectralfarben. Auch das Sonnenlicht, welches die Atmosphäre unter wechselnden meteorologischen Verhältnissen durchzogen hat, ist nicht frei von Veränderungen seiner Mischung.

Eben deshalb ist die bequeme und leicht auszuführende Methode der Mischung auf dem Farbenkreisel wenig brauchbar zu genauen Messungen.

Wendet man dagegen einfaches Licht eines gut gereinigten Spectrum an, so ist man wenigstens sicher, daſs das Licht derselben Wellenlänge immer dieselbe Qualität habe, welche also durch Angabe der Wellenlänge vollständig bestimmt ist. Schwieriger ist es feste Verhältnisse der Lichtmengen verschiedener Spectralfarben herzustellen, festzuhalten und zu definiren. Man kann darin zunächst nur so weit kommen, als es gelingt, eine Lichtquelle unveränderlicher Art festzuhalten.

Dazu kommt, daſs in den prismatischen Spectren, welche hier vorzugsweise gebraucht werden müssen, da sie reiner und lichtstärker sind als die Diffractionsspectra, die Helligkeit der einzelnen Farbenbänder auch von der Breite, welche

selben im Spectrum einnehmen, und daher von dem besonderen Dispersionsverhältnifs des gebrauchten Glases abhängen.

Weiteren Einflufs in derselben Richtung können absorbirende Mittel, namentlich schwache Färbungen des Glases im Prisma und in den Linsen der Fernröhre haben.

Die brechenden Medien des Auges zeigen merkliche Färbung wohl nur in krankhaften Zuständen. Aber die Färbung des gelben Flecks wirkt auf spectrales Grünblau (nahe der Linie *F*) sehr deutlich, und wie schon bemerkt, sehen Mischungen, die dieses Blau enthalten, im Fixationspunkte des Sehfeldes anders aus, als in kurzer Entfernung davon.

Unter diesen Umständen ist es wichtig hier diejenigen Bestimmungen anzuzeigen, die unabhängig von Intensitätsmessungen sind.

## Festhaltung einzelner Farben unter Vermeidung von Intensitätsmessungen.

Zunächst ist zu bemerken, dafs jede der Spectralfarben, und alle Mischungen innerhalb der beiden Endstrecken des Spectrum, welche gleichaussehend sind, wie gewisse Spectralfarben, durch die Wellenlängen dieser letzteren definirt werden können.

Für Mischungen, welche merklich weifslicher sind als die entsprechenden Farbentöne des Spectrum, ist es dagegen immer möglich verschiedene Farbenpaare anzugeben, aus denen sie gleichaussehend hergestellt werden können. Denn da die ganze Reihe von Mischfarben, welche aus zwei bestimmten Spectralfarben zusammengesetzt werden können, in einer geraden Linie der Farbentafel liegt, so kann eine Farbe, die gleichaussehend aus zwei verschiedenen Paaren von Spectralfarben gemischt werden kann, nur im Schnittpunkte der beiden geraden Linien liegen, welche in der Farbentafel die Orte der beiden je zu einem Paar zugehörigen Spectralfarben verbindet. Zugleich ergiebt sich daraus, dafs nur eine einzige solche Farbe existiren kann, da sich zwei gerade Linien nur in einem Punkte schneiden. Durch die angegebene Bestimmung ist also die betreffende Farbe unzweideutig bestimmt.

So kann man also zum Beispiel die Angaben über die complementären Farben verschiedener Beobachter auf S. 317—319, ansehen als Definitionen desjenigen Weifs, welches jene Beobachter ihren Bestimmungen zu Grunde gelegt haben.

Auf diese Weise wird also ein Beobachter das Weifs eines bestimmten Tageslichts auch durch Gaslicht wieder herstellen können.

Es ist ferner zu bemerken, dafs wenn man zwei Farbenpaare $a_1$, $a_2$ und $b_1$, $b_2$ und noch eine Farbe $c_1$ aus dem Spectrum als gegeben ansieht, die nächste Spectralfarbe $c_2$, welche mit $c_1$ dieselbe Mischfarbe bilden kann, wie $a_1$ mit $a_2$ einerseits, und $b_1$ mit $b_2$ andrerseits, fest bestimmt wäre. Sie müfste in der Farbentafel da liegen, wo die von $c_1$ aus durch den Ort der gemeinsamen Mischfarbe von $a_1$ und $a_2$, beziehlich $b_1$ und $b_2$ gezogene gerade Linie die Spectralcurve schneidet.

Es wären dies Beziehungen zwischen den Farben, welche unabh von ihren Helligkeitsverhältnissen in der betreffenden Lichtquelle bes müssen. Eben deshalb wären sie auch unabhängig von der Einsch schwach gefärbter Medien zwischen Lichtquelle und Auge oder im selbst, da solche nichts weiter bewirken, als die Helligkeitsverhäl zwischen den einzelnen Farben des Spectrum zu verändern.

Andrerseits wären solche Messungen auch sehr geeignet Änder der objectiven Lichtintensität verschiedener Theile des Spectrum erk zu lassen; denn sobald solche einträten, würde das Mengenverhältnil beiden Componenten beider Paare geändert werden müssen.

### Curve der Spectralfarben.

Wenn man die Curve der Spectralfarben in der Farbenebene darzustellen so lassen die oben S. 320 gegebenen Versuchsergebnisse schon erkennen, daſs einen offenen Bogen darstellen wird, der in beiden Zwischenstrecken sich geraden Linie eng annähert, während in der Mitte eine gekrümmte Mittels bleibt, und die Endstrecken sich in einen Punkt zusammenziehen.

Ich gebe in *Fig. 139* eine von den Herren A. KÖNIG und C. DIE nach ihren gemeinschaftlich ausgeführten Messungen construirte Tafel,[1] in d Buchstaben $A$ bis $H$, sowie $a$ und $b$ die entsprechenden FRAUNHOFER'schen bezeichnen. Die Farben jenseits $B$ im äuſsersten Roth und jenseits $G$ im fallen in die Endpunkte der Curve zusammen, während andrerseits die Farben zwischen $C$ und $E$, und noch mehr die im bläulichen Grün zwischen $b$ und $F$ sich sehr weit auseinanderziehen. In der That liegen hier (S. 317) die Stellen des Spectrum, wo der Farbenton sich sehr schnell ändert. Die rothe Zwischenstrecke reicht von dem Endpunkte bis etwa zur Mitte zwischen $C$ und $D$, die violette umfaſst das geradlinige umgeknickte Ende der Curve. Der Knick könnte wohl davon herrühren, daſs sich hier bläulichweiſse Fluorescenz der Netzhaut zu dem unmittelbaren Einfluſs des Lichtes gesellt, und die violetten Farbe deshalb in der Richtung gegen das Weiſs hin verschoben haben.

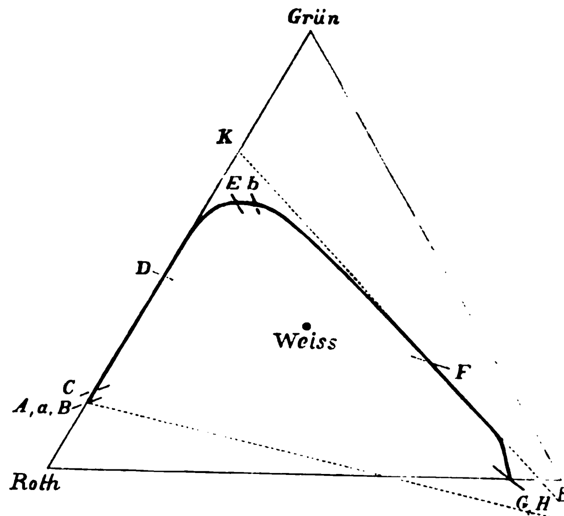



Fig. 139

[1] A. KÖNIG. *Rep. of the British Assoc.* Birmingham 1886. pag. 431. *Naturwiss. Rundschau* J 1886. S. 457.

Es sind zwei Dreiecke um diese Curve gelegt worden, das eine gleichseitige mit ausgezogenen Seiten beruht auf einem Versuche der Herren König und Dieterici, die physiologischen Grundfarben durch Vergleichung der normalen Augen mit den farbenblinden zu finden, wovon später mehr. Das andre punktirte sucht die Spectralcurve möglichst eng zu umschliefsen, wobei die Abweichung im Violet als verursacht durch die Fluorescenz angesehen wird. Die Ecken dieses Dreiecks $R$, $K$, $V$ entfernen sich am wenigsten von den Spectralfarben. Das darin vorkommende Grün im Punkte $K$ würde im Farbenton den Magnesiumlinien $b$ im Sonnenspectrum entsprechen, müfste aber etwas gesättigter sein.

## Allgemeine theoretische Erörterungen.

Jede Art additiver Verknüpfung irgend welcher natürlicher Gröfsen, welche aufgefunden worden ist, kann unmittelbar zur Grundlage eines Messungssystems dieser Gröfsen gemacht werden; so auch das Gesetz der Farbenmischung. Haben wir es mit Gröfsen aus einer Mannigfaltigkeit von einer Dimension zu thun, so genügt es dann eine bestimmte Gröfse dieser Art als die Maafseinheit zu wählen. Wie grofs wir sie wählen, ist der Regel nach willkürlich. Wenn aber die betreffenden Gröfsen einem Gebiete von drei Dimensionen angehören, so haben wir im allgemeinen drei willkürliche Einheiten zu wählen nicht nur der Gröfse nach, sondern auch der Qualität nach. Auch in den Raummessungen ist nicht nur die gewählte Längeneinheit willkürlich, sondern auch die drei Richtungen der Coordinaten, auf welche wir alle andern Lagenbestimmungen beziehen wollen. Da wir jedoch in diesem Falle denselben Längenmaafsstab an jede der Coordinatenrichtungen anlegen können, so können wir wenigstens dieselbe Längeneinheit nach allen Richtungen hin zu Grunde legen. Im Farbensystem haben wir ebenfalls eine Mannigfaltigkeit von drei Dimensionen, und müssen daher drei Einheiten willkürlich wählen. Die Willkürlichkeit der gewählten Ausgangsfarben entspricht hier der Willkürlichkeit der Coordinaten-Richtung des Raumes. Über die Möglichkeit, die Quanta der drei verschiedenen Lichter auf ein gemeinsames Grundmaafs zurückzuführen, werden wir im nächsten Paragraphen zu verhandeln haben. Es sind zunächst auch hier, wie bei den Raumcoordinaten, nebensächliche Verhältnisse oder auch hypothetische Ansichten, die uns die Wahl des einen oder andern Coordinatensystems bevorzugen lassen.

Wenn wir nun die Grundfarben und ihre quantitativen Einheiten $R$, $G$, $V$ gewählt haben, dann kann der physiologische Eindruck jeder andern Farbe $F$ dadurch vollkommen beschrieben werden, dafs wir sagen, sie sehe so aus, wie eine Vereinigung von so und so viel Einheiten $R$, $G$ und $V$. Also wenn wir mit $x$, $y$, $z$ Zahlen bezeichnen

$$F = x \, . \, R + y \, . \, G + z \, . \, V.$$

Wir erreichen dadurch zunächst ebenso viel, als wenn wir die Länge eines Stabes …es oder Andern dadurch bezeichnen, dafs wir dieselbe in Centimetern ausdrücken.

Was aber hier verglichen und messend bestimmt wird, ist eine physiologische Wirkung des Lichtes auf das Auge, welche überdies noch beeinflufst wird durch allerlei individuelle und physiologische Verhältnisse, die theils schon besprochen sind, theils später noch besprochen werden sollen. Die objectiven Lichtmengen kommen hier nur als Empfindungsreize in Betracht, und haben als solche einen physikalisch mefsbaren Werth. Wenn wir also z. B., was zunächst noch willkürlich

ist, als Grundfarbe gewisse Quanta Roth, Grün, Violet mit den Einheiten $R$, $G$, $V$ gewählt haben und für gemischtes farbiges Licht $F$ die Farbengleichung

$$F = x \,.\, R + y \,.\, G + z \,.\, V$$

hätten, so wäre $x$ der Rothwerth, $y$ der Grünwerth, $z$ der Violetwerth des Lichtes $F$ zu nennen.

Es folgt nun aber daraus auch weiter, dafs es in der Empfindung des Auges drei entsprechende Arten der Thätigkeit geben mufs, die, ohne sich gegenseitig zu stören, neben einander bestehen können, und von denen alle Verschiedenheit der Farbenempfindung abhängt.

Nehmen wir an, es sei irgend ein Verfahren gefunden, sei es innere Beobachtung, die z. B. Herr E. Hering dazu für brauchbar hält, oder irgend ein anderes, um drei mefsbare Gröfsen $\varphi$, $\psi$, $\chi$ zu bestimmen, die zusammengenommen die Art der Empfindung des Auges vollständig definiren: so würde jedenfalls durch Beobachtung ermittelt werden können, wie die Werthe dieser Gröfsen $\varphi$, $\psi$, $\chi$ abhängen von den Werthen $x$, $y$, $z$ des einfallenden Lichts. Es würden also einmal $\varphi$, $\psi$ und $\chi$ als drei Functionen der $x$, $y$, $z$, wie auch umgekehrt $x$, $y$, $z$ als Functionen der $\varphi$, $\psi$, $\chi$ dargestellt werden können. Da keine zwei verschiedene Werthegruppen der $x$, $y$, $z$ dieselbe Empfindung, d. h. dieselben Werthe der $\varphi$, $\psi$, $\chi$ geben, so müssen die $x$, $y$, $z$ auch eindeutig durch die $\varphi$, $\psi$, $\chi$ ausgedrückt werden können. Diese die Werthe der $x$, $y$, $z$ darstellenden Functionen der $\varphi$, $\psi$, $\chi$ wären also Gröfsen, die nur von den Eigenthümlichkeiten der Empfindung abhängen und durch die Art der Empfindung bestimmt wären, denen andrerseits eine gewisse Selbständigkeit der Existenz zukäme, da jede neben beiden andern, und ungestört durch die andern im Nervenapparate erregt werden, bestehen und wieder verschwinden könnte. Dieses ungestörte neben einander Bestehen ist es aber gerade, was wir verlangen müssen, wenn wir von Elementen oder Bestandtheilen der Empfindung reden sollen. Wenn wir also die $x$ darstellende Function von $\varphi$, $\psi$, $\chi$ mit $r$, entsprechend die beiden andern mit $g$, $v$ bezeichnen, so wären diese Gröfsen $r$, $g$, $v$ in der That als Elemente der Farbenempfindung zu bezeichnen. Aber auch allen additiven Aggregaten ersten Grades von der Form $(a \,.\, r + b \,.\, g + c \,.\, v)$, worin $a$, $b$, $c$ Zahlen sind — positive, oder soweit das einen Sinn haben sollte, auch negative — würden dieselbe Art ungestörten Nebeneinanderbestehens zeigen können. Welche von solchen linearen Functionen der $r$, $g$, $v$ wir am zweckmäfsigsten als Elemente wählen, bleibt zunächst noch unentschieden.

Andrerseits aber giebt es keine anderen als diese linearen Functionen der $r$, $g$, $v$, welche, wenn zwei Lichter mit den Farbenwerthen $x_1$, $y_1$, $z_1$ und $x_2$, $y_2$, $z_2$ zusammenkommen, sich einfach addiren, und die dementsprechend als Elemente der Farbenempfindung angesehen werden könnten. Natürlich schliefst dies nicht aus, dafs andere Wirkungen im Bereich der Gesichtsempfindungen zu Stande kommen, die in verwickelterer Weise von den $x$, $y$, $z$ abhängen. Eine solche Wirkung werden wir in der Unterschiedsempfindlichkeit des Auges und der nach dieser bestimmten Intensität der Empfindung kennen lernen. Aber solche Gröfsen, für welche nicht die Möglichkeit auch quantitativ ungestörten Nebeneinanderbestehens erwiesen ist, werden wir, wenn wir genau reden wollen, auch nicht Elemente der Empfindung nennen dürfen.

Da die Verkennung dieses Satzes grofse Verwirrung in der Farbenlehre angerichtet hat, erlaube ich mir, seinen verhältnifsmäfsig einfachen analytischen Beweis hierher zu setzen.

Frage ist also, ob es irgend eine Function $F$ der Gröfsen $x$, $y$, $z$ geben könne, dirt zu derselben Function andrer Werthe $\xi$, $\eta$, $\zeta$ derselben Variablen, eine von $(x+\xi)$, $(y+\eta)$, $(z+\zeta)$ gäbe. Es fragt sich also, unter welchen Beding- e Gleichung

$$F(x+\xi),\ (y+\eta),\ (z+\zeta) = Fx,\ y,\ z + F\xi,\ \eta,\ \zeta$$

g wechselnde Werthe der Variablen bestehen könne.

n sie für einen gegebenen Werth von $x$ besteht, und auch für einen unendlich on verschiedenen bestehen soll, so mufs die Gleichung nach $x$ differentiirt e für alle Werthe der Variablen gültige Gleichung geben.

$$\frac{d\,F(x+\xi)}{d\,[x+\xi]} = \frac{d\,F_x}{d\,x}$$

Function $F(\xi)$, welche von $x$ nicht abhängig ist, fällt dabei fort. Differentiirt tzte Gleichung ebenso, sei es nach $\xi$ oder nach $\eta$ oder nach $\zeta$, so fällt auch Function, die von den $x$ allein abhängt, weg, und es ergiebt sich, dafs zweiten Differentialquotienten der Function $F_{(x+\xi)}$ nach irgend welchen iblen $(x+\xi)$, $(y+\eta)$ oder $(z+\zeta)$ genommen gleich Null sind.

n aber für eine Function von $x$, $y$, $z$ gleichzeitig

$$\frac{d^2 F}{d\,x^2} = 0,\quad \frac{d^2 F}{d\,x\,.\,d\,y} = 0,\quad \frac{d^2 F}{d\,x\,.\,d\,z} = 0,$$

s diesen Gleichungen nach einander, dafs $\frac{dF}{dx}$ weder von $x$, noch von $y$, noch ingig, also eine Constante sei. Dasselbe folgt für $\frac{dF}{dy}$ und $\frac{dF}{dz}$. Daraus folgt in bekannter Weise, dafs $F$ nur die Form haben könne

$$F = ax + by + cz,$$

von den $x$, $y$, $z$ unabhängig sind.

anzen ist aus diesen Erörterungen also zu schliefsen,

afs in irgend einem Abschnitte der leitenden Nervensubstanz unter dem farbigen Lichts drei verschiedene, von einander unabhängige und sich nicht störende Elementarthätigkeiten zu Stande kommen; wir wollen Elementarerregungen nennen. Ihre Gröfse ist den entsprechenden then $x$, $y$, $z$ des objectiven Lichts direct proportional; sie entsprechen den obigen Darstellung.

afs alle weiter nach dem Gehirn hin auftretenden Thätigkeiten, auch die zum Bewufstsein gelangenden Empfindungen bei gegebenem Zustande der n Hirntheile nur Wirkungen, und der Gröfse nach Functionen $\varphi$, $\chi$, $\psi$ Elementarerregungen $r$, $g$, $v$ sind.

afs entweder die Elementarerregungen selbst oder drei von ihnen ab- ch gegenseitig nicht störende Wirkungen derselben getrennt dem Central- leitet werden.

diese weiteren Thätigkeiten in den tieferen Organen wissen wir nun t Sicherheit. Gewifse Anhaltspunkte wird uns die Untersuchung der n Unterschiede und der Nachwirkungen der Empfindung geben.

tverständlich ist, da wir es in diesem ganzen Gebiete immer nur mit des objectiven Lichtes auf Organe des lebenden Körpers zu thun fs die physiologischen Zustände dieser Organe, die Änderungen ihrer t, wie sie in der Physiologie bezeichnet werden, Einflufs auf die Gröfse ler Wirkung haben, und somit die Abhängigkeit zwischen den $\varphi$, $\psi$, $\chi$

einerseits und den $x$, $y$, $z$ andrerseits beeinflussen, so daſs in die Gleichungen, welche diese Abhängigkeit ausdrücken, noch andere veränderliche, von den Zuständen der Organe, aber nicht von dem zur Zeit einfallenden Lichte abhängige Gröſsen eingehen. Diese würden also dann auch in die durch $\varphi$, $\psi$, $\chi$ ausgedrückten Werthe der $r$, $g$, $v$ eintreten und eine gewisse Veränderlichkeit in der Gröſse oder Art der elementaren Vorgänge anzeigen. Änderungen in der Gröſse sind in der That bekannt, und werden in der Lehre von den Nachbildern besprochen werden.

Ferner ist zunächst kein Grund da anzunehmen, daſs wir diese so bestimmten Elemente der Empfindung durch einen unmittelbaren Act des Bewuſstseins sollten von einander scheiden können, um sie unmittelbar als Elemente zu erkennen. Der Regel nach heften wir unsre Aufmerksamkeit nur auf solche Unterschiede der Empfindungen, welche in regelmäſsiger Weise mit gewissen objectiven Verhältnissen der uns umgebenden Natur zusammenhängen. Betreffs der Farben ist das Hauptziel unsrer Aufmerksamkeit die richtige Abschätzung der Körperfarben. Darin erlangen wir in der That groſse Sicherheit, während schon besondere Einübung oder günstige Bedingungen für die Beobachtung dazu gehören, die Veränderungen der Körperfarben durch Luftfarben, durch die Beleuchtung, durch Contraste sicher aufzufassen. Im Gebiete der Körperfarben hat nun in der That das Weiſs eine hervorragende Stellung; weiſsliche Farben werden am meisten gesehen. Sie bilden den Mittelpunkt der ganzen Farbenwelt, und was nicht weiſs ist, erscheint nur als Abweichung von Weiſs. Wir schätzen es nach der Gröſse dieser Abweichung (Sättigung) und ihrer Richtung (Farbenton). Diese Verhältnisse sind es auch, wie schon bemerkt, die wir in der Sprache festzulegen suchen. Dabei ist im ganzen darauf zu rechnen, daſs die Sprache ungefähr gleich deutlich für die unmittelbare Empfindung hervortretende Unterschiede durch besondere Namen zu unterscheiden suchen wird.

Immerhin ist es beachtenswerth, daſs dieses nur zur Bezeichnung der unmittelbar wahrzunehmenden Ähnlichkeiten und Verschiedenheiten der Farben ausgearbeitete System von Namen, wenigstens in seinen Hauptzügen, mit der in der Farbentafel oder der Farbenpyramide dargestellten Anordnung der Farben übereinstimmt, woraus es einigermaſsen wahrscheinlich wird, daſs die bewuſstwerdenden Empfindungen selbst verhältniſsmäſsig wenig verwickelten oder veränderten Functionen gewisser Elementarerregungen entsprechen.

Andre Forscher freilich, wie E. Hering und C. Donders nehmen an, daſs hier neue Combinationen aus den Elementarerregungen entstehen, die unabhängig neben einander in das Bewuſstsein treten und als gesondert unterschieden werden.

Hypothesen. Die aus dem Farbenmischungsgesetze zu erschlieſsende Thatsache, daſs drei von einander unabhängig verlaufende Empfindungscomponenten durch die äuſsere Reizung hervorgerufen werden, haben ihren bestimmteren und anschaulicheren Ausdruck in den Hypothesen erhalten, welche annehmen, daſs diese verschiedenen Componenten der Empfindung in verschiedenen Theilen des Sehnervenapparats erregt und fortgeleitet werden, dann aber gleichzeitig zur Wahrnehmung gelangen und dabei, so weit sie von derselben Stelle der Netzhaut aus erregt worden sind, auch in derselben Stelle des Sehfeldes gleichzeitig localisirt werden.

Eine solche Theorie wurde zuerst von THOMAS YOUNG[1] aufgestellt. Die here Durchführung derselben ist wesentlich bedingt dadurch, dafs ihr itor den lichtempfindenden Nerven des Auges nur diejenigen Eigenschaften d Fähigkeiten zuschreiben wollte, welche wir für die motorischen Nerven r Thiere und des Menschen sicher kennen. Diese letzteren durch Verche zu ermitteln haben wir viel günstigere Gelegenheit als bei den npfindungsnerven, da wir die feinsten Veränderungen ihrer Erregung und rregbarkeit durch die in den Muskeln erregten Contractionen und deren eränderungen verhältnifsmäfsig leicht und deutlich erkennen und abmessen innen. Was wir übrigens sonst über den Bau, die chemische Beschaffenit, die Erregbarkeit, Leitungsfähigkeit, das elektrische Verhalten der nsiblen Nerven haben ermitteln können, stimmt so vollständig mit dem sprechenden Verhalten der motorischen Nerven überein, dafs fundamenle Verschiedenheiten in der Art ihrer Thätigkeit, soweit sie nicht von nen mit ihnen verbundenen anderen organischen Apparaten abhängen, auf lie sie ihre Wirkung ausüben, äufserst unwahrscheinlich sind. Diese Verhältnisse sind zum Theil schon in § 17 besprochen.

Nun kennen wir für die motorischen Nerven nur den Gegensatz zwischen dem Zustande der Ruhe und der Thätigkeit. Im ersteren kann der Nerv lange Zeit unverändert erhalten werden, ohne erheblichen Stoffwechsel oder Wärmeentwicklung; dabei bleibt der von diesem Nerven abhängige Muskel schlaff. Wenn man den Nerven reizt, entwickelt sich Wärme in ihm, stoffliche Änderungen, elektrische Oscillationen sind nachzuweisen, der Muskel contrahirt sich. Im ausgeschnittenen Nervenpräparat geht die Leistungsfähigkeit dabei schnell verloren, wahrscheinlich wegen des Verbrauchs der zur Thätigkeit nöthigen chemischen Bestandtheile. Unter Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffs, oder besser noch des sauerstoffhaltigen arteriellen Bluts stellt sich langsam die Reizbarkeit ganz oder theilweise wieder her, ohne dafs diese Wiederherstellungsprocesse Zusammenziehungen des Muskels oder die mit der Thätigkeit zusammenfallenden Änderungen des elektrischen Verhaltens in Nerv oder Muskel erregen. Auch kennen wir kein äufseres Mittel, welches diesen Wiederherstellungsprocefs so schnell und intensiv hervorrufen und ihn dabei auch so plötzlich eintreten und wieder aufhören lassen könnte, wie es nöthig sein würde, wenn dieser Procefs als physiologische Grundlage kräftiger und präcis eintretender Empfindung dienen sollte.

Wenn wir unsere Annahmen bei der Ausbildung der Theorie des Farbensehens auf diese den Nerven sicher zukommenden Fähigkeiten beschränken, ist dadurch in ziemlich festen Umrissen die Theorie von TH. YOUNG gegeben.

Die Empfindung von Dunkel entspricht dem Ruhezustand des Sehnerven, von farbigem oder weifsem Licht einer Erregung desselben. Die drei fachen Empfindungen, welche der Erregung nur eines einzigen der drei

[1] TH. YOUNG. *Lectures on Natural Philosophy.* London. 1807.

Nervenapparate entsprechen und aus denen sich alle anderen zusammensetzen lassen, müssen in der Farbentafel den drei Eckpunkten des Farbendreiecks entsprechen.

Um möglichst wenige durch objective Erregung nicht nachweisbare Farbenempfindungen anzunehmen, scheint es zweckmäfsig, die Ecken des Farbendreiecks so zu wählen, dafs dessen Seiten die Curven der Spectralfarben möglichst eng umschliefsen.

291 Dem entsprechend hat nun Th. Young[1] angenommen:

1. Es giebt im Auge drei Arten von Nervenfasern. Reizung der ersten erregt die Empfindung des Roth, Reizung der zweiten die des Grün, Reizung der dritten die Empfindung des Violet.
2. Objectives homogenes Licht erregt diese drei Arten von Fasern je nach seiner Wellenlänge in verschiedener Stärke. Die rothempfindenden Fasern werden am stärksten erregt von dem Lichte gröfster Wellenlänge, die grünempfindenden von dem Lichte mittlerer Wellenlänge, die violetempfindenden von dem Lichte kleinster Wellenlänge. Indessen ist dabei nicht ausgeschlossen, mufs vielmehr zur Erklärung einer Reihe von Erscheinungen angenommen werden, dafs jede Spectralfarbe alle Arten von Fasern erregt, aber die einen schwach, die andern stark. Denken wir uns in *Fig. 140* in horizontaler Richtung die Spectralfarben in ihrer natürlichen Reihenfolge aufgetragen, anfangend von Roth *R* bis zum Violet *V*, so können die drei Curven etwa die Erregungsstärke der drei Arten von Fasern darstellen, No. 1 die der rothempfindenden, No. 2 der grünempfindenden, No. 3 der violetempfindenden.[2]

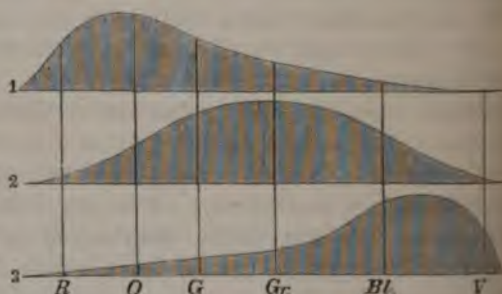


*Fig. 140.*

Das einfache Roth erregt stark die rothempfindenden, schwach die beiden andern Faserarten; Empfindung: roth.

Das einfache Gelb erregt mäfsig stark die roth- und grünempfindenden, schwach die violetten; Empfindung: gelb.

Das einfache Grün erregt stark die grünempfindenden, viel schwächer die beiden anderen Arten; Empfindung: grün.

Das einfache Blau erregt mäfsig stark die grün- und violetempfindenden, schwach die rothen; Empfindung: blau.

---

[1] Th. Young, *Lectures on Natural Philosophy*. London, 1807.

[2] Genauere nach Messungen ausgeführte Constructionen dieser Curven folgen unten in *Fig. 14*[illegible]

Das einfache Violet erregt stark die gleichnamigen, schwach die
leren Fasern; Empfindung: violet.

Erregung aller Fasern von ziemlich gleicher Stärke giebt die Empfin-
ng von Weifs oder weifslichen Farben.

Vielleicht nimmt bei dieser Hypothese zunächst mancher daran Anstofs,
fs die Zahl der vorauszusetzenden Nervenfasern und Nervenendigungen
rdreifacht werden mufs, im Vergleich mit der älteren Annahme, wo
in jede einzelne Nervenfaser alle möglichen Farbenerregungen leiten liefs.
a glaube aber nicht, dafs in dieser Beziehung die Annahme von Young
t den anatomischen Thatsachen in Widerspruch steht; schon auf S. 264
eine Hypothese erörtert worden, welche die Genauigkeit des Sehens mit
ilfe einer viel kleineren Zahl von Sehnervenfasern erklärt, als die der
terscheidbaren Örter im Sehfelde ist.

Die Wahl der drei Grundfarben hat, wie schon oben bemerkt wurde, 202
nächst etwas Willkürliches. Es könnten beliebig jede drei Farben ge-
ählt werden, aus denen Weifs zusammengesetzt werden kann. Young ist
ohl durch die Rücksicht geleitet worden, dafs die Endfarben des Spectrum 203
ine ausgezeichnete Stellung zu beanspruchen scheinen. Würden wir diese
icht wählen, so müfste eine der Grundfarben ein purpurner Farbenton
ein, und die ihr entsprechende Curve in *Fig. 140* zwei Maxima haben,
ines im Roth, eines im Violet.

Der einzige Umstand, welcher direct in der Empfindungsweise sich
eltend macht, und einen Anhalt für die Bestimmung der Grundfarben zu
ewähren scheint, ist die anscheinend gröfsere Farbensättigung des Roth
nd Violet, die auch, weniger entschieden freilich, für das Grün sich noch
erklich macht. Da wir die Farben um so gesättigter nennen, je mehr
ie von Weifs unterschieden sind, so müssen wir erwarten, dafs grofse
ättigung namentlich denjenigen Spectralfarben zukommen müsse, die die
infachsten Farbenempfindungen am reinsten hervorrufen. In der That
aben diese Farben, wenn sie sehr rein sind, selbst bei geringer Helligkeit
twas intensiv Glühendes, fast Blendendes. Namentlich giebt es manche
othe, violete oder blauviolete Blüthen, z. B. von Cinerarien, deren Farben
iese eigenthümliche Verbindung von Dunklem und Blendendem zeigen.
oung's Hypothese giebt dafür eine einfache Erklärung. Eine dunkle Farbe
ann eine intensive Erregung eines der drei Nervenapparate geben, während
ntsprechend helles Weifs viel schwächere Erregung dreier Nervenapparate
ebt. Der Unterschied erscheint analog dem zwischen der Empfindung von
hr heifsem Wasser auf einer kleinen Hautstelle und lauwarmem Wasser,
s eine gröfsere Hautfläche trifft.

Am meisten macht mir das Violet diesen Eindruck einer tief gesättigten
rbe, aber bei der geringen Lichtstärke der eigentlich violetten Strahlen,
sie selbst im Sonnenlicht vorkommen, und der Einmischung des Fluo-
cenzlichtes, kommt ihm das durch gröfsere Lichtstärke begünstigte Ultra-
rinblau verhältnifsmäfsig nahe. Das eigentlich reine Violet des Spectrum

Zapfen in der That noch Stäbchen mit rothen, und solche mit gelbgrü tröpfchen vor, die eine Begünstigung einzelner einfacher Lichter in der auf das hintere Glied dieser Gebilde bewirken könnten. Bei den Säugethie dem Menschen ist bisher nichts Ähnliches gefunden worden.

2. Durch die Zersetzung jeder der lichtempfindlichen Substanzen damit beladene Nervenfaser in den Zustand von Erregung versetzt. Es gi eine Art von empfindungserregender Thätigkeit in jeder Nervenfaser, die setzung der organischen Substanz und Wärmeentwicklung einhergeht, wie wir den Muskelnerven her kennen. Diese Vorgänge in den drei Fasersystem wahrscheinlich auch unter einander durchaus gleichartig. Sie wirken im dadurch verschieden, dafs sie mit verschieden functionirenden Hirntheilen ve sind. Die Nervenfasern brauchen hier wie überhaupt nur die Rolle von Teleg drähten zu spielen, durch welche durchaus gleichartige electrische Ströme in den damit verbundenen Endapparaten die verschiedensten Thätigkeiten oder hervorrufen können. Diese Erregungen der drei Fasersysteme bilden gesonderten drei Elementarerregungen, vorausgesetzt, dafs die Erregun für welche wir noch kein allgemeingültiges Maafs haben, dabei der Lic proportional gesetzt wird. Das hindert nicht, dafs diese Intensität der El erregung irgend welche verwickelte Function des Stoffverbrauchs oder der Stromesschwankung im Nerven sein könnte, welche letzteren Vorgänge et als Maafs der Erregung gelegentlich verwendet werden könnten.

3. Im Hirn stehen die drei Fasersysteme mit drei verschieden functio Systemen von Ganglienzellen in Verbindung, die vielleicht räumlich so an gelagert sind, dafs die denselben Netzhautstellen entsprechenden dicht zus liegen. Das scheint aus den neueren Untersuchungen über den Einflufs vo verletzungen auf das Gesichtsfeld hervorzugehen.

Die neuere von Herrn E. Hering aufgestellte Modification der You Hypothese, in der Gegensatz positiver und negativer Nerventhätigkeiten ange wird, soll weiter unten besprochen werden.

305 Methoden zur Mischung farbigen Lichts. Um das farbige Licht der und anderer Naturkörper zu mischen, ist das einfachste Verfahren folgendes. I Entfernung (30—40 cm) über einer schwarzen Tischplatte bringt man eine kleine gestellte Glasplatte $a$ (*Fig. 141*) mit ebe parallelen Flächen an, deren Ebene verlä Tischplatte in $d$ schneiden möge. Indem des Beobachters schräg abwärts nach platte $a$ hinblickt, sieht er mittels des Platte durchgelassenen Lichtes den des Tisches, mittels des reflectirten dagegen den Theil $dc$ scheinbar mi sammenfallend. Legt man in gleic fernung von $d$ in $c$ und in $b$ gefärbte oder andere gefärbte Flächen hin, so der Beobachter das Spiegelbild von zusammenfallend. Das farbige Lich schlägt an der Vorderseite der Gla genau denselben Weg ein, auf welc farbige Licht von $b$ fortgeht, und beide Lichter fallen also gemischt in das Aug von ihm gesehene gemeinsame Bild von $b$ und $c$ mufs also in der Mischfarbe er



*Fig. 141.*

er in ihr liegenden Spectralfarbe gemischt werden können. Die nach den ssungen derselben Beobachter entworfene Farbentafel *Fig. 139* zeigt diebe Thatsache in graphischer Darstellung. Eben deshalb ist für TH. YOUNG's eorie die Annahme nothwendig, dafs im allgemeinen jede Spectralfarbe ichzeitig, wenn auch in verschiedener Stärke, nicht blos einen, sondern ei oder alle drei von den drei farbenempfindenden Nervenapparaten erregt. chstens für die Endfarben des Spectrum, Roth und Violet, würde die nahme der Einfachheit zulässig sein. Aber gerade beim Violet wissen r. dafs die von den violetten Strahlen hervorgerufene Fluorescenz der Netzut die Reinheit der Empfindung trüben mufs, und es scheint mir nicht wahrscheinlich, dafs die schon von MAXWELL gefundene und auch in ig. 139 bemerkbare Krümmung der Linie zwischen *F* und *G* von der uorescenz der Netzhaut bedingt ist.

Daraus folgt nun weiter, dafs es theoretisch möglich erscheinen mufs, urch andere Bedingungen der Erregung Empfindungen gesättigterer Farben ervorzurufen. Dafs dies auch praktisch möglich ist, und diese Forderung von YOUNG's Theorie wirklich erfüllt werden kann, werde ich bei der Beschreibung er Nachbilder zu erörtern haben.

Die geschilderte Farbentheorie von TH. YOUNG ist der allgemeinen Theorie der Nerventhätigkeit gegenüber, wie sie von JOHANNES MÜLLER usgearbeitet worden ist, eine speciellere Durchführung des Gesetzes von len specifischen Empfindungen. Ihren Annahmen entsprechend wären lie Empfindung des Roth, des Grün, des Violet als bestimmt durch die pecifische Empfindungsenergie der entsprechenden drei Nervenapparate anusehen. Jede beliebige Art der Erregung, welche den betreffenden Apparat iberhaupt erregen kann, würde in ihm immer nur seine specifische Empfinlung hervorrufen können. Den Grund der besonderen Qualität dieser Empfindungen dürfen wir wohl nicht in der Netzhaut oder der Beschaffenheit ihrer Fasern, sondern in der Thätigkeit der mit ihnen verbundenen entralen Gehirntheile suchen.

Ich habe bis hierher die Auseinandersetzung dieser Theorie verhältnifsmäfsig bstract gehalten, um dieselbe möglichst frei von weiter gehenden hypothetischen Zusätzen zu halten. Indessen hat es andrerseits grofse Vortheile für das sichere Verständnifs solcher Abstractionen, wenn man sich möglichst concrete Bilder davon u machen sucht, selbst wenn diese manche Voraussetzung hineinbringen, die für as Wesen der Sache nicht gerade nothwendig ist. In diesem Sinne erlaube ich ur, die folgende etwas handgreiflichere Gestalt der YOUNG'schen Theorie vorzuragen. Dafs Einwände gegen diese Zusätze das Wesen von YOUNG's Hypothese icht widerlegen, brauche ich wohl nicht auseinanderzusetzen.

1. In den Endorganen der Sehnervenfasern sind dreierlei Arten photochemisch rsetzbarer Substanzen abgelagert, welche für verschiedene Theile des Spectrum rschiedene Empfindlichkeit haben. Die drei Farbenwerthe der Spectralfarben ingen wesentlich von der photochemischen Reaction dieser drei Substanzen gegen s Licht ab. In den Augen der Vögel und Reptilien kommen neben farblosen

Zapfen in der That noch Stäbchen mit rothen, und solche mit gelbgrünen Öltröpfchen vor, die eine Begünstigung einzelner einfacher Lichter in der Wirkung auf das hintere Glied dieser Gebilde bewirken könnten. Bei den Säugethieren und dem Menschen ist bisher nichts Ähnliches gefunden worden.

2. Durch die Zersetzung jeder der lichtempfindlichen Substanzen wird die damit beladene Nervenfaser in den Zustand von Erregung versetzt. Es giebt nur eine Art von empfindungserregender Thätigkeit in jeder Nervenfaser, die mit Zersetzung der organischen Substanz und Wärmeentwicklung einhergeht, wie wir sie von den Muskelnerven her kennen. Diese Vorgänge in den drei Fasersystemen sind wahrscheinlich auch unter einander durchaus gleichartig. Sie wirken im Hirn nur dadurch verschieden, dafs sie mit verschieden functionirenden Hirntheilen verbunden sind. Die Nervenfasern brauchen hier wie überhaupt nur die Rolle von Telegraphendrähten zu spielen, durch welche durchaus gleichartige electrische Ströme fliefsend in den damit verbundenen Endapparaten die verschiedensten Thätigkeiten auslösen oder hervorrufen können. Diese Erregungen der drei Fasersysteme bilden die oben gesonderten drei Elementarerregungen, vorausgesetzt, dafs die Erregungsstärke, für welche wir noch kein allgemeingültiges Maafs haben, dabei der Lichtstärke proportional gesetzt wird. Das hindert nicht, dafs diese Intensität der Elementarerregung irgend welche verwickelte Function des Stoffverbrauchs oder der negativen Stromesschwankung im Nerven sein könnte, welche letzteren Vorgänge etwa auch als Maafs der Erregung gelegentlich verwendet werden könnten.

3. Im Hirn stehen die drei Fasersysteme mit drei verschieden functionirenden Systemen von Ganglienzellen in Verbindung, die vielleicht räumlich so aneinander gelagert sind, dafs die denselben Netzhautstellen entsprechenden dicht zusammenliegen. Das scheint aus den neueren Untersuchungen über den Einflufs von Hirnverletzungen auf das Gesichtsfeld hervorzugehen.

Die neuere von Herrn E. HERING aufgestellte Modification der YOUNG'schen Hypothese, in der Gegensatz positiver und negativer Nerventhätigkeiten angenommen wird, soll weiter unten besprochen werden.

305 **Methoden zur Mischung farbigen Lichts.** Um das farbige Licht der Pigmente und anderer Naturkörper zu mischen, ist das einfachste Verfahren folgendes. In einiger Entfernung (30—40 cm) über einer schwarzen Tischplatte bringt man eine kleine vertical gestellte Glasplatte $a$ (*Fig. 141*) mit ebenen und parallelen Flächen an, deren Ebene verlängert die Tischplatte in $d$ schneiden möge. Indem das Auge des Beobachters schräg abwärts nach der Glasplatte $a$ hinblickt, sieht er mittels des von der Platte durchgelassenen Lichtes den Theil $db$ des Tisches, mittels des reflectirten Lichtes dagegen den Theil $dc$ scheinbar mit $db$ zusammenfallend. Legt man in gleicher Entfernung von $d$ in $c$ und in $b$ gefärbte Oblaten oder andere gefärbte Flächen hin, so erblickt der Beobachter das Spiegelbild von $c$ mit $b$ zusammenfallend. Das farbige Licht von $c$ schlägt an der Vorderseite der Glasfläche genau denselben Weg ein, auf welchem das farbige Licht von $b$ fortgeht, und beide Lichter fallen also gemischt in das Auge $o$, das von ihm gesehene gemeinsame Bild von $b$ und $c$ mufs also in der Mischfarbe erscheinen.



*Fig. 141.*

Einrichtung der Farbenkreisel wird in § 22 näher beschrieben werden.

ı andern Methoden, farbiges Licht zusammenzusetzen, ist noch zu erwähnen ein von VOLKMANN, der durch gefärbte Gewebe, die er dicht vor das Auge hielt, nach Flächen hinsah. Die Mischung beider Farben wird aber nicht recht gleichmäfsig, ann auch die Durchsichtigkeit der Fäden stören, indem die Fäden theilweise wie ges Glas wirken, durch welches man eine farbige Fläche sieht. CZERMAK hat EINER'schen Versuch benutzt, indem er durch einen Schirm mit zwei engen n sah, welche mit verschiedenfarbigen Gläsern bedeckt waren. Soweit die infach erscheinen, erscheinen sie auch in der Mischfarbe. HOLTZMANN läfst das lectirte Licht zweier farbigen Papiere auf weifses Papier fallen. CHALLIS er- ersuche, wie sie übrigens schon MILE angestellt hatte, bei denen Papiere, die fen verschiedener Farben versehen waren, aus solcher Entfernung betrachtet dafs die Streifen einzeln nicht mehr erkannt werden konnten. Endlich hat thoden beschrieben, um Interferenz- und Absorptionsfarben zu mischen. Er lazu Spiegel, die aus farbigen Gläsern mit Silber belegt gebildet sind. Die Fläche solcher Spiegel giebt polarisirtes weifses Licht, die hintere unpolarisirtes sorption gefärbtes. Geht nun das so gemischte Licht durch eine Glimmerplatte NICOL'sches Prisma, so bleibt das letztere Licht unverändert. Das polarisirte gegen wird durch die Interferenz des ordentlichen und aufserordentlichen Strahls all so gefärbt, dafs seine Farbe einer der Farbenstufen von NEWTON's Ring- entspricht. Beide Arten von Licht fallen vermischt in das Auge des Beob-

e verhältnifsmäfsig günstige und auch leicht auszuführende Methode für die des Lichts zweier neben einander liegender farbiger Felder besteht darin, dafs e Grenze durch ein achromatisirtes doppeltbrechendes Prisma von Kalkspath gkrystall betrachtet, so dafs die Grenzlinie in Doppelbildern auseinander ge- wird. Zwischen den beiden Bildern der Grenze sieht man dann die Ränder lder übereinandergeschoben, und die beiden Farben durch Überdeckung ver- eitlich dagegen bleiben die Farben der beiden Felder ungemischt stehen.

die Prüfung von GRASSMANN's Satz, dafs gleichaussehende Farben gemischt, gleichaussehende Mischungen geben, lassen sich nach einem Vorschlag von n sowohl die spiegelnde Glasplatte, wie das Kalkspathprisma sehr leicht in der wenden, dafs man mit ihrer Hülfe irgend welches andre farbige Licht über die

brechender Kante betrachtet. Die Spectra haben dann die Form wie in *Fig. 143*, wo $\alpha\beta\beta_{,}\alpha_{,}$ das Spectrum des Schenkels $ab$ und $\gamma\beta\beta_{,}\gamma_{,}$ das Spectrum von $bc$ ist. In dem ersteren laufen die Farbenstreifen parallel $ab$ und $\alpha\beta$, im zweiten parallel $bc$ und $\beta\gamma$, wie die gestrichelten Linien. In dem mittleren dreieckigen Felde $\beta\delta\beta_{,}$, welches beiden Spectren gemeinsam ist, schneiden alle Farbenstreifen des einen Spectrum alle Farben-




*Fig. 142.* *Fig. 143.*

streifen des andern, und es entstehen dadurch an diesen Stellen alle aus je zwei einfachen Farben gebildeten Mischfarben. Wenn die Breite der Spalten unveränderlich ist, so kann doch das Verhältnifs der Quantitäten des gemischten Lichtes dadurch geändert werden, dafs man das Prisma aus der senkrechten Stellung in eine geneigte bringt, wodurch die Spectra die Form wie *Fig. 144* annehmen und das eine $\beta\gamma\beta_{,}\gamma_{,}$, in welchem dieselbe Lichtmenge auf einen kleineren Raum vertheilt wird, heller wird, während das andere $\alpha\beta\beta_{,}\alpha_{,}$, dessen Flächenraum vergröfsert ist, an Helligkeit verliert.

*Fig. 144.*

Man kann durch diese Methode die meisten der oben angeführten Resultate gewinnen. Eine genaue Beurtheilung der Mischfarben, namentlich der weifslicheren, ist aber erstens dadurch erschwert, dafs die einzelnen Farben einen zu kleinen Raum einnehmen, selbst wenn man die Beobachtung mit einem Fernrohr ausführt, zweitens dadurch, dafs man im Gesichtsfelde eine Menge anderer glänzender Farben daneben hat, welche durch Contrastwirkungen das Ansehen der minder gesättigten Farben stark verändern.

Diese Übelstände sind bei einer **zweiten Methode** vermieden; für diese wird ein complicirterer Apparat gebraucht, von dem *Fig. 145* eine horizontale Projection dar-




*Fig. 145.*

stellt. Man läfst Sonnenlicht, welches von einem Heliostaten reflectirt ist, durch einen
304 verticalen Spalt in ein dunkles Zimmer fallen, läfst es durch ein Prisma *P Fig. 145* und eine achromatische Linse $L_{,}$ gehen, in deren Brennpunkt ein Schirm $S_{,}$ steht, auf dessen

r Fläche ein objectives Spectrum entworfen wird. Zwischen Linse und Schirm sich ein Diaphragma $D$ mit rechteckigem Ausschnitt. Der Schirm $S_{,}$ hat zwei Spalten bei $\gamma_{,}$ und $\gamma_{,,}$, welche von dem Lichte, das hier zu dem Spectrum t ist, zwei Farbenstreifen durchgehen lassen, während alles andere farbige Licht a Schirme zurückgehalten wird. Hinter diesem Schirme ist eine zweite achromainse $L_{,,}$ von kürzerer Brennweite angebracht, welche auf dem zweiten Schirme $S_{,,}$ , $\delta_{,}$, $\delta_{,,}$ des Diaphragma $D$ entwirft. Die Breite des einfallenden weifsen Strahlenist $\alpha_{,}\alpha_{,,}$; hinter der Linse $L_{,}$ sind die Grenzstrahlen der beiden verschieden-Strahlenbündel, deren Brennpunkte mit den beiden Spalten $\gamma_{,}$ und $\gamma_{,,}$ zusamm-, dadurch unterschieden, dafs eren gestrichelt, die weniger punktirt sind. Die Öffnung agma $D$ mufs so eng gemacht dafs sie ganz von Strahlen beider ausgefüllt ist, so dafs von jedem der Öffnung Strahlen der betref-Farbe auf jeden Punkt der $\gamma$, $\gamma_{,,}$ fallen. Macht man die Seite des Diaphragma weifs, so a darauf das Strahlenbündel als Fleck mit farbigen Rändern sich n (bei $\varepsilon_{,}$ blau, bei $\varepsilon_{,,}$ roth). Um nte Bedingung zu erfüllen, Öffnung ganz in der weifsen r beleuchteten Stelle liegen. en Umständen ist die Öffnung ragma gleichsam das leuchfest, von welchem zweierlei ch die Spalten des Schirms $S_{,}$ Linse $L_{,,}$ fällt. In dem Bilde welches die Linse von dem Dia- $D$ entwirft, ist beiderlei Art er dieselbe gleichmäfsig ausgeund diese Fläche erscheint daher Mischfarbe, oder wenn man eine ten verdeckt, in einer der ein-Farben.



*Fig. 146.*

den Farbenton und die Intenr gemischten Lichter nach Beund sehr allmälig ändern zu ist eine besondere Construction rms $S$, nöthig, und ist derselbe in *Fig. 146* abgebildet. Der Schirm besteht aus eckigen Messingplatte $AABB$, die bei $C$ durch einen cylindrischen Stab getragen tzterer verschiebt sich in einer gespaltenen cylindrischen Hülse $D$, die in der nes mit drei Stellschrauben versehenen Brettes befestigt ist. Der Schirm kann seinem Träger $C$ auf und nieder geschoben, und in jeder Höhe mittels des en und durch eine Schraube zusammengezogenen Ringes $E$ festgestellt werden.

f der Messingplatte $AABB$ sind in schräger Richtung zwei Schlitten beweglich, undlagen die Messingplatten $aa$ und $\alpha\alpha$ sind. Mit $bb$, $\beta\beta$, $c$ und $c$ sind die bezeichnet, zwischen denen sich die Platten verschieben. Diese Platten werden e Schrauben $d$ und $\delta$ bewegt, deren Mütter in die an der grofsen Platte $AABB$ n Messingklötze $e$ und $\varepsilon$ eingeschnitten sind, und deren Enden drehbar in den $g$ und $\gamma$ befestigt sind, welche von den beweglichen Platten getragen werden.

Durch Drehung der Schrauben $d$ und $\delta$ verschiebt man also die Platten $aa$ und $\alpha\alpha$ parallel den Schienen, zwischen denen sie als Schlitten gehen.

Auf der beweglichen Platte $aa$ ist nun wieder als Schlitten beweglich die Platte $f$ zwischen horizontalen Schienen angebracht, und durch die Schraube $m$ zu verstellen. Ebenso auf der Platte $\alpha\alpha$ die Platte $\varphi$ mit der Stellschraube $\mu$. Zwischen den einander zugekehrten Rändern der Platten $f$ und $\varphi$ liegen noch die beiden dreieckigen ebenso dicken Platten $l$ und $\lambda$, jene auf $aa$, letztere auf $\alpha\alpha$ befestigt. Die einander zugekehrten und zugeschärften Ränder von $f$ und $l$, sowie von $\varphi$ und $\lambda$ bilden zwei Paare Gravesande'scher Schneiden.

Dahinter befindet sich in der grofsen Platte $AABB$ ein entsprechender Ausschnitt, um das Licht, welches durch die beiden Spalten gegangen ist, weiter hindurchzulassen. Die vorderen Flächen von $f$, $l$, $\varphi$ und $\lambda$ sind matt versilbert, um das Spectrum darauf gut projiciren zu können. Der Ort des Spectrum ist durch das kleine punktirte Rechteck angedeutet.

Verschiebt man mittels der Schrauben $d$ und $\delta$ die Platten $aa$ und $\alpha\alpha$, so treten die Spalten unter einen andern Ort des Spectrum, und es gehen andere Farbentöne durch sie hindurch. Durch die Schrauben $m$ und $\mu$ dagegen ändert man die Breite der Spalten und damit auch die Menge des durchgelassenen Lichtes.

Es kommt darauf an, dafs der Vereinigungspunkt gleichfarbiger Strahlen, welche durch die Linse $L_{,}$ gegangen sind, genau auf der Ebene des Schirmes $S_{,}$ liegt, sonst
305 zeigt das Farbenfeld auf $S_{,,}$ von rechts nach links verschiedene Farbentöne. Die Spalten müssen den dunklen Linien des Spectrum parallel sein, was durch die Stellschrauben am Fufse des Schirms $S_{,}$ bewirkt werden kann. Auch müssen alle Unreinigkeiten an der Linse und Prisma, welche gefärbte Flecke in dem Farbenfelde geben würden, sorgfältig entfernt werden. Zwischen den beiden einzelnen Linsen der achromatischen Doppellinse $L_{,}$ bilden sich leicht Newton'sche Ringe, die im Farbenfelde abgebildet werden. Diese entfernt man, indem man Canadabalsam zwischen die Linsen bringt. Je weiter man übrigens das Diaphragma $D$ von der Linse $L_{,}$ entfernt, desto verwaschener ist das Bild solcher Flecken in den Gläsern, und desto weniger stören sie. Es ist deshalb die hier abgebildete Anordnung des Apparats besser, als die früher von mir beschriebene.

Bei dieser Methode hat das farbige Feld eine gröfsere Ausdehnung als bei der ersten, und alle anderen Farben, welche durch Contrastwirkungen stören könnten, sind entfernt. Doch bleiben noch in vielen Fällen manche Hindernisse bestehen, die eine ruhige und sichere Beurtheilung der Mischfarbe erschweren. Es macht sich erstens die Farbenzerstreuung im Auge bei Zusammensetzungen nur zweier einfacher Farben von sehr verschiedener Brechbarkeit viel bemerkbarer als bei weifsem Lichte (s. oben S. 159). Der Rand des Farbenfeldes färbt sich deshalb leicht mit einer von beiden Farben, während in der Mitte die andere überwiegt. Dann ist das Auge bei einigen weifsen Mischfarben, namentlich bei dem aus Roth und Grünblau zusammengesetzten Weifs, aufserordentlich empfindlich gegen die kleinsten Einmischungen einer der ursprünglichen Farben, so dafs die kleinsten Ungleichmäfsigkeiten des Apparats und etwa vorhandene Nachbilder im Auge, namentlich bei gröfserer Lichtstärke, sehr stören. Endlich sind hierbei auch die Verschiedenheiten des Eindrucks zwischen Mitte und Randtheilen der Netzhaut sehr auffallend. Verhältnifsmäfsig am leichtesten ist es, Weifs aus Gelb und Indigo zusammenzusetzen, schwerer aus Gelbgrün und Violet oder Goldgelb und Wasserblau, am schwersten aus Roth und Grünblau. Letzteres erscheint in geringer Entfernung vom Fixationspunkte blau, wenn es auf diesem weifs ist.

Die Wellenlängen der complementären einfachen Farben habe ich in der Weise bestimmt, dafs ich die Linse $L_{,,}$ und den Schirm $S_{,,}$ entfernte und aus einiger Entfernung die Spalten des Schirms $S_{,}$ durch ein Fernrohr betrachtete, vor dessen Objectiv eine Glasplatte mit feinen äquidistanten verticalen Linien angebracht war. Man sieht dann Diffractionsspectra der Spalten, deren scheinbare Entfernung von dem betreffenden

der Wellenlänge proportional ist. Man braucht also nur in derselben Weise die nung der Diffractionsspectra für eine der dunklen Linien des Spectrums zu messen, Wellenlänge FRAUNHOFER bestimmt hat, so ergeben sich daraus leicht die Wellen- der beobachteten gemischten Farben.

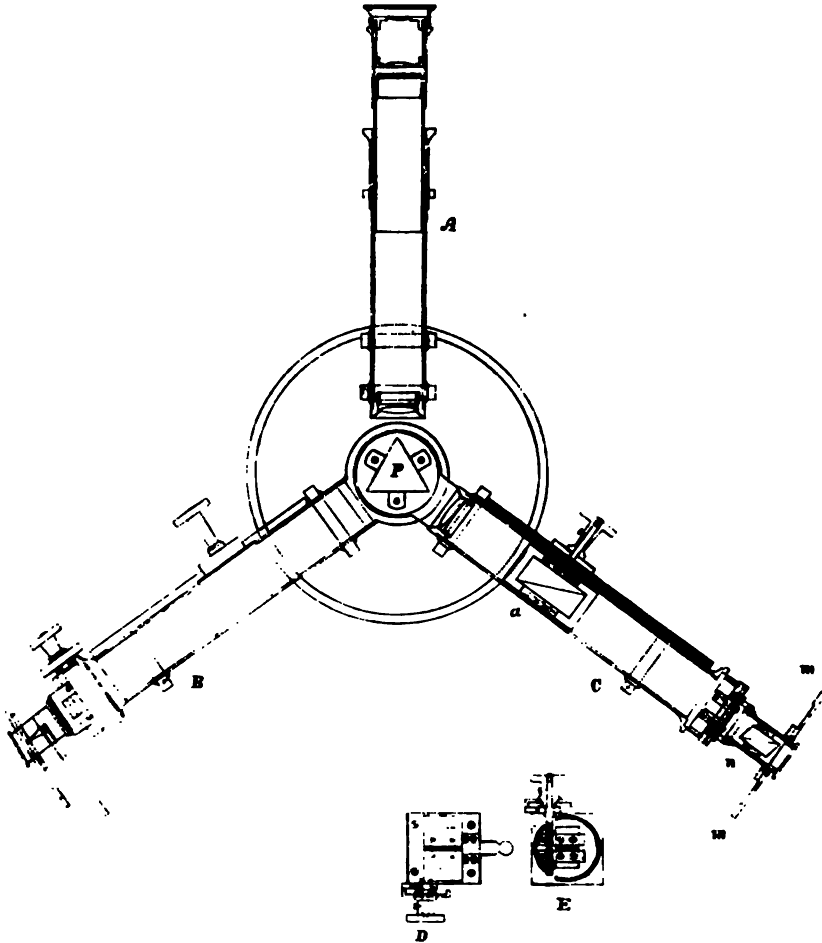



Fig. 147

Spectrophotometer für Farbenmischung. Zu Messungen geeigneter ist eine lerung der Methode, bei welcher die Mischfarben nicht objectiv projicirt werden, m als potentielle Bilder im Sehfelde erscheinen. Sie beruht darauf, dafs, wenn in Bild des Spectrum auf einen Schirm, der einen Spalt hat, entwirft, so dafs ein schmaler Streifen des Spectrum scharf abgebildet auf und durch den Spalt fällt, rch diesen Spalt blickendes Auge von allen Theilen der Prismenfläche nur Licht Farbe kommen sieht, so dafs die ganze Fläche des Prisma als ein gleichmäfsiges einer Farbe erscheint. Diese Methode, auf eine einzelne Farbe angewendet, ist auf S. 301 besprochen, und dort sind auch die Vorsichtsmafsregeln angegeben,

Helligkeit der beiden Felder vergleichen und sie gleich zu machen suchen, wenn sie es noch nicht sind, und so eine Farbengleichung herstellen.

In jeder der Mischfarben kann man durch Drehung des entsprechenden Rohres *B* oder *C* beide Farben gleichzeitig dem Roth oder dem Violet nähern; dagegen durch Vorwärtsschiebung des Doppelspaths *a* die eine gegen das Roth, die andre zum Violett wandern machen. Die Intensität der Componenten ändert man in genau meſsbarer Weise durch Drehen des Nicols *n*, das Helligkeitsverhältniſs beider Paare dagegen durch Änderungen der Spaltbreite am Ende von *B* oder *C*.

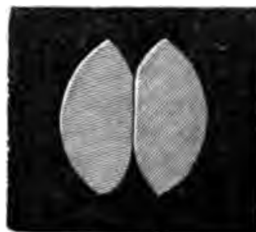


*Fig. 148*

Um die Wellenlängen zu bestimmen, wurde die Ocularlinse von *A* eingesetzt. Dann sieht man bei Anwendung von Sonnenlicht im Ocularspalte die FRAUNHOFER'schen Linien der vier Spectra erscheinen, die man auch einzeln abblenden kann. Da die Wellenlängen auch der feineren Linien genau bekannt sind, so kann man in dieser Weise bestimmen, welche Wellenlänge den vier mittleren Farben des Spaltes zukommt.

Die gemessenen Intensitätsverhältnisse beziehen sich zunächst auf die Helligkeiten, mit denen die entsprechenden Farben in dem prismatischen Spectrum der angewendeten Lichtquelle erscheinen. Es waren dies bei den Versuchen der Herren A. KÖNIG und C. DIETERICI Gasflammen, für deren Constanz möglichst gesorgt wurde. Es wurden schlieſslich noch die Werthe der Helligkeiten der einzelnen Farbenstreifen dieses Lichts in diejenigen des Interferenzspectrum des Sonnenlichts umgerechnet. Die Reductionscoefficienten für die Umrechnung auf das Interferenzspectrum wurden aus den Brechungs-Indices des benutzten Prisma berechnet, hingegen die Coefficienten für die Umrechnung auf das Sonnenlicht durch besondere photometrische Messung gewonnen.[1] Unter Sonnenlicht ist hier immer das Licht verstanden, welches eine mit Magnesiumoxyd überzogene Fläche, die bei unbewölktem Himmel von directen Sonnenstrahlen getroffen wird, diffus reflectirt. Betreffs der Einzelheiten in der praktischen Ausführung der Versuche muſs hier auf die Publicationen der Autoren verwiesen werden.

Die Ergebnisse der messenden Farbenmischungsversuche für die individuellen Unterschiede menschlicher Augen. Die groſse Mehrzahl menschlicher Augen gehört betreffs ihres Farbensinns einer und derselben Klasse an; da ihr Farbensystem die Annahme von drei Grundfarben erfordert, so nennen wir die Augen dieser Klasse **normale trichromatische** Augen. Die Herren A. KÖNIG und C. DIETERICI, welche Augen dieser Art besitzen, haben sehr ausgedehnte Messungsreihen mit dem eben beschriebenen Apparate zur Mischung von Spectralfarben ausgeführt, aus denen sie schlieſslich die Form ihrer Empfindlichkeitscurven für drei Elementarempfindungen berechnet haben. Sie haben dabei zunächst äuſserstes Roth und äuſserstes Violet als diejenigen zwei Elementarempfindungen angenommen, welche in den Endstrecken des Spectrum allein erregt werden. Als Endstrecken sind, wie oben schon bemerkt, diejenigen angesehen, deren einzelne Farbenbänder sich nur durch ihre Helligkeit, nicht durch den Farbenton unterscheiden, nämlich Roth mit Wellenlängen gröſser als 655 $\mu\mu$ und Violet mit solchen, kleiner als 430 $\mu\mu$. Die Zwischenstrecken (Orange

[1] Vergleiche A. KÖNIG *Verhandl. d. Physik. Ges. zu Berlin* vom 22 Mai 1885 und 19. März 1886. — *Du Bois' Archiv* Bd. 30 (2) S. 162. 1884 und *Wied. Annalen*. Bd. 22. S. 572. 1884.

von 655 $\mu\mu$ bis 630 $\mu\mu$, und Blau von 475 bis 430 $\mu\mu$), sind angesehen a Mischungen aus einer dritten grünen Elementarfarbe mit Roth einerseits, u Violet andrerseits, so dafs diese Strecken noch in die Seiten des Dreiec hineinfallen, welches die drei Elementarfarben als Ecken hat. Dadur wäre theoretisch, unbedingte Genauigkeit der Messungen vorausgeset die Art der dritten Elementarfarbe fest bestimmt. In Wirklichkeit war d Weg ihrer Bestimmung langwieriger und nicht so direct, weil nicht al Mischungen gleich gut zu brauchen waren. In sehr weifslichen Mischung entfernter Farben verschwinden leicht die Unterschiede des Farbentons, u bei Mischung zu nahe benachbarter Farben bringen kleine Fehler der Beo achtung grofse Unterschiede in den Rechnungsresultaten hervor. Schliefsli wurde, um das Verhältnifs der Intensität der verschiedenen Grundempfindunge festzustellen, angenommen, dafs die drei Helligkeiten derselben, die im Wei vereinigt sind, gleich grofs seien. Das Farbendreieck wird also unter dies Annahme ein gleichseitiges Dreieck, in dessen Mittelpunkt das Weifs ge lagert ist.

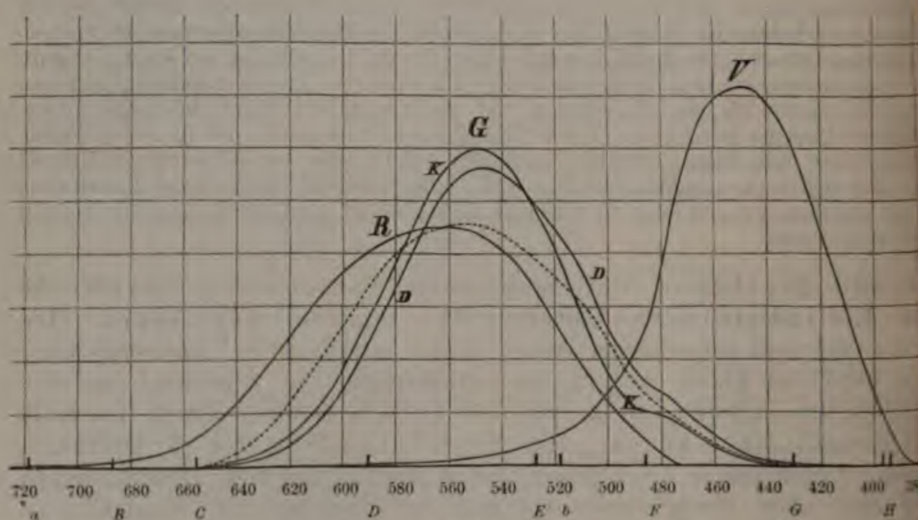


*Fig. 149.*

Die Endergebnisse, welche die beiden genannten Beobachter unt solchen Annahmen aus ihren Messungen berechnet haben, sind in *Fig. 14* graphisch dargestellt. Die Abscissenlinie entspricht den Wellenlängen, d unten in Milliontelmillimetern angegeben sind, während darunter FRAUNHOFER Linien durch ihre Buchstaben angezeigt sind. Die Curven *R* für das Gewic der Rothempfindung und für das der Violetempfindung waren bei den beid genannten Beobachtern hinreichend nahe übereinstimmend, dafs sie in eine Curve vereinigt werden konnten. In der Curve für Grün sind d Abweichungen etwas gröfser, deshalb sind die beiden Curven (*K* für Her

A. König, *D* für Herrn C. Dieterici) getrennt gezeichnet. Die Höcker am violeten Ende der Grüncurve könnten von der Absorption durch das gelbe Pigment der Netzhautgrube herrühren, welche sich vorzugsweise in der Fraunhofer'schen Linie *F* geltend macht. Die entsprechende Ausbuchtung in der Violetcurve ist nicht deutlich, da deren Führung überhaupt in ihren Anfängen, wo sie von andrem starken Lichte überstrahlt wird, verhältnifsmäfsig unsicher bleibt.

Die punktirte Curve entspricht einer zweiten selteneren Abart der trichromatischen Augen, deren Vorkommen schon von Lord Rayleigh[1] und Herrn Donders[2] nachgewiesen war. Die Grüncurve nähert sich bei ihnen beträchtlich der Rothcurve, namentlich in ihrem vorderen Theile. Die Abweichung zwischen beiden Arten trichromatischer Augen zeigt sich deutlich, wenn man von ihnen das Verhältnifs bestimmen läfst, in welchem spectrales Roth und Grün (etwa der Lithium- und Thalliumflamme entsprechend) zu Goldgelb (Natriumflamme) verbunden werden. Die normalen Augen nehmen dazu meist mehr als dreimal soviel Grün, als die der Minorität. Die Rothcurve der letzteren zeigte kleine Abweichungen. Hingegen war die Violetcurve innerhalb der Genauigkeit der Beobachtungen mit der normalen übereinstimmend.

Zu bemerken ist, dafs bei den Grundsätzen, die der Construction der Fig. 149 zu Grunde liegen, die Stelle des Spectrum, wo sich die Roth- und Grüncurve schneiden, complementär sein mufs zum Violet, und die Stelle, wo sich die Grün und die Violetcurven schneiden, complementär sein mufs zum äufsersten Roth. Die entsprechenden Wellenlängen, welche schon aus den S. 318 und 319 gegebenen Tabellen hervorgehen, ergaben sich für beide Beobachter in gleichem Werthe auch aus den Curven, worin eine Controlle für die Richtigkeit ihres Verfahrens liegt.

Dichromatische Augen. Von grofsem Interesse für die Theorie der Farbenempfindungen sind die Wahrnehmungen solcher Augen, welche weniger Farben als die gewöhnlichen Augen unterscheiden (Farbenblindheit, *Achromatopsia*, *Achrupsia*). Verhältnifsmäfsig selten sind Augen, denen alle Farbenunterschiede fehlen, Monochromaten; häufiger sind solche, die gewisse Farbenunterschiede gut unterscheiden, andere verwechseln, Dichromaten. Schon A. Seebeck hat nachgewiesen, dafs es zwei Klassen der letzteren giebt. Innerhalb jeder dieser Klassen machen die einzelnen Augen nahehin dieselben Verwechselungen zwischen verschiedenen Farben. Dagegen erkennt jede Klasse die meisten Verwechselungen, welche Individuen der andern Klasse gemacht haben. 294

Zuerst lernte man überwiegend Fälle von Seebeck's zweiter Klasse kennen, deren Eigenart auch oft nach dem bekannten Chemiker J. Dalton,

[1] Rayleigh. *Nature*. Vol. XXV. p. 64. 1881. Gelesen in Section A der British Association Sept. 2 1881.

[2] F. C. Donders. *Onderzoekingen etc.* 3. Reeks. D. VIII. 170. Auch in *Du Bois Reymond's Archiv für Physiologie*. 1884. S. 518.

der zu ihnen gehörte und zuerst eine genauere Untersuchung diese Zustandes gab, Daltonismus (*Anerythropsia* nach GOETHE) genann wird. Da die englischen Naturforscher gegen diese Art, den Namen ihre berühmten Landsmannes durch einen seiner Fehler zu verewigen, Einsprach erheben, wollen wir den Zustand Rothblindheit nennen. Individuen, be denen dieser Zustand vollständig entwickelt ist, sehen im Spectrum nur zwe Farben, die sie meist Blau und Gelb nennen. Zum letzteren rechnen si das ganze Roth, Orange, Gelb und Grün. Die grünblauen Töne nennen si grau, den Rest blau. Das äufserste Roth, wenn es lichtschwach ist, sehe sie gar nicht, wohl aber wenn es intensiv ist. Sie zeigen deshalb die roth Grenze des Spectrum gewöhnlich an einer Stelle an, wo die normalen Auge noch deutlich schwaches Roth sehen. Unter den Körperfarben verwechsel sie das Roth (d. h. Zinnoberroth und röthlich Orange) mit Braun un Grün, wobei dem normalen Auge im allgemeinen die verwechselten rothe Farbentöne viel heller erscheinen, als die braunen und grünen; Goldgel unterscheiden sie nicht von Gelb, Rosaroth nicht von Blau. Die Mischunge verschiedener Farben dagegen, welche dem normalen Auge gleich erscheinen erscheinen meist auch den Rothblinden gleich. Schon J. HERSCHEL[1] stell in Bezug auf DALTON's Fall die Ansicht auf, dafs alle Farben, welche e unterschiede, aus zwei statt aus drei Grundfarben zusammengesetzt gedach werden könnten. Diese Meinung ist später durch MAXWELL mittels seine Methode, die Farbenmischung auf dem Farbenkreisel zur Messung zu benutzen geprüft und bestätigt worden. Für das gesunde Auge läfst sich, wie wi sahen, zwischen jeder vorkommenden Farbe, drei passend gewählten Grund farben, ferner Weifs und Schwarz eine Farbengleichung herstellen. Bei de Rothblinden braucht man, wovon ich mich selbst überzeugt habe, aufse
295 Weifs und Schwarz nur zwei Farben (z. B. Gelb und Blau), um mit jede anderen Farbe die Farbengleichung auf der rotirenden Scheibe herzustelle Ich benutzte bei meinen Versuchen mit Herrn M., einem jungen Polytec niker, der an physikalische Untersuchungen gewöhnt war, und sich ziemli empfindlich gegen die Farbenunterschiede zeigte, die für sein Auge noch vo handen waren, als Hauptfarben Chromgelb und Ultramarin.

Mit Roth (etwa dem des Siegellacks) war ihm identisch eine Mischu von 35° Gelb, 325° Schwarz, die für das normale Auge ein dunkles Olive grün gab.

Mit Grün identisch (im Farbenton etwa FRAUNHOFER's Linie $E$ entspreche ergiebt sich aus den Versuchen eine Mischung von 327° Gelb 33° Blau, das normale Auge Graugelb. Mit Grau identisch 165° Gelb und 19 Blau, für das normale Auge ein schwach röthliches Grau.

Da man nun aus Roth, Gelb, Grün, Blau alle anderen Farbentöne wü mischen können, so ergiebt sich, dafs für Herrn M. alle aus Gelb und B gemischt werden könnten.

[1] In einem Briefe, der angeführt ist in G. WILSON, *on Colour Blindness*. Edinbourgh. 1855. p. 60

Was nun die andere Klasse der Farbenblinden, SEEBECK's erste Klasse, 299
betrifft, so unterscheiden sie sich nach SEEBECK's Angaben von den Rothblinden dadurch, dafs sie leicht und sicher über die Übergänge zwischen Violet und Roth urtheilen, die jenen gleichmäfsig als Blau erscheinen. Dagegen machen sie Verwechselungen zwischen Grün, Gelb, Blau und Roth. Wenn beide Klassen denselben Farbenton mit Grün verwechseln, so wählen die Individuen dieser Klasse ein gelberes Grün als die Rothblinden. Sie zeigen keine Unempfindlichkeit gegen das äufserste Roth, und verlegen die gröfste Helligkeit des Spectrum in das Gelb. Auch sie unterscheiden nur zwei Farbentöne im Spectrum, die sie (wahrscheinlich ziemlich richtig) Blau und Roth nennen. Danach kann man vermuthen, dafs ihr Übel in einer Unempfindlichkeit der grünempfindenden Nerven besteht.

**Violetblindheit** ist bisher sehr selten als dauernder Zustand gefunden 847
worden, doch besitzt man im Santonin ein Mittel, welches einen der Violetblindheit ähnlichen Zustand hervorzuruft. Damit die Wirkung schnell 848
eintrete und nicht zu lange anhalte, nimmt man 10 bis 20 Gran **santoninsauren Natrons**. Nach 10 bis 15 Minuten fängt die Veränderung an und dauert mehrere Stunden. Uebrigens treten dabei auch Uebelkeiten, grofse Müdigkeit und Gesichtshallucinationen auf, so dafs ein solcher Versuch nicht ohne Beschwerde ist. Durch gröfsere Dosen werden Thiere getödtet. Die der Wirkung des Santonins unterworfenen Personen sehen helle Objecte grüngelb, dunkle Flächen zuweilen mit Violet überzogen; das violette Ende des Spectrum verschwindet. Ihr Farbensystem ist dichromatisch, oder wenigstens annähernd so. Bei den Versuchen von E. ROSE[1] zeigte sich, dafs bei mäfsiger Stärke der Beleuchtung Farbengleichungen mit nur zwei Grundfarben im Santoninrausch hergestellt werden konnten, aber nicht bei gröfserer Lichtstärke. Die hergestellten Farbengleichungen blieben aber nicht längere Zeit constant, sondern der Zustand veränderte sich fortdauernd ziemlich merklich. Es waren gelbe und violette Mischfarben, die für gleich erklärt wurden.

Der Querschnitt der Sehnerven, mit dem Augenspiegel betrachtet, zeigte sich nicht gelbgefärbt, so dafs keine, oder wenigstens keine merkliche gelbe Färbung der Augenflüssigkeiten vorhanden war. Dagegen waren die Blutgefäfse der Netzhaut stark gefüllt.

Auch A. KÖNIG[2] hat Versuche über die Santonwirkung angestellt und „
gefunden, dafs weifse Gegenstände nahehin die Farbe von der Wellenlänge 570—573 $\mu\mu$ zeigen; letztere ist die Complementärfarbe des Violet. Er bestätigt, dafs selbst bei hochgesteigerten Santonwirkungen von einer vollständigen Dichromasie des Auges keine Rede ist. Während das violette Ende des Spectrum verschwand, blieb Grünblau und Blau noch erkennbar. Er findet die Erscheinungen mehr denen der Absorption durch ein grüngelbliches Glas (ein

[1] E. ROSE, *Virchow's Archiv* XVI. 233—253. (1859). — XIX. 522—536 (1860). — XX. 245—290. — XXVIII. 1863 und *Graefe's Archiv für Ophthalm.* VII. (2) 72—108. (1861).
[2] A. KÖNIG, *Centralblatt für praktische Augenheilkunde* 1888 Decemberheft.

dickes Uranglas) ähnlich, welches das Violet auslöscht, Blau und Blau erheblich schwächt, aber diese Farben doch immerhin deutlich erken läfst. Das Violetsehen auf dunklem Grunde war bei ihm nicht sehr he tretend. Eine solche Erscheinung der Complementärfarbe auf dun Grunde kommt auch sonst vor, wenn man längere Zeit durch starkgef Medien, z. B. ein rothes Glas, gesehen hat. Davon mehr in § W. Preyer[1] sah helles Violet erscheinen, wenn er bei dunkel gehalt Auge Santonin nahm; fand dagegen die Auslöschung des spectralen V auf den gelben Fleck der Netzhaut beschränkt. A. König[2] fand bei e Kranken, der in einem Skotom der Netzhaut vollkommene Violetblin zeigte, den neutralen Punkt im Gelbgrün von 560,4 $\mu\mu$.

295 Farbensystem der Dichromaten. Wenn man Grasmann's S über Farbenmischung auf ein Auge anwendet, welches die Farbengleichu des trichromatischen Auges anerkennt, aber Roth mit Grün verwechsel folgt, dafs die Farbentöne, welche es überhaupt unterscheidet, alle aus anderen Farben, etwa Gelb und Blau, zu mischen seien. Denn wenn Roth Grün identisch erscheinen, müssen nach jenen Sätzen auch alle Mischfarben Roth und Grün identisch erscheinen. Da gleich aussehende Farben gem gleich aussehende Mischfarben geben, mufs ferner jede Mischung e bestimmten Quantität Gelb mit passenden Quantitäten aller der Mi farben aus Roth und Grün, die für das farbenblinde Auge gleiches Auss haben, für dieses Auge gleich aussehende Mischfarben geben. Eine der M farben aus Roth und Grün ist aber für das gesunde Auge auch durch und Blau herzustellen, und kann daher für das farbenblinde Auge sämmtlicher Mischfarben aus Roth und Grün substituirt werden. Da folgt, dafs sämmtliche Mischfarben aus Gelb, Roth und Grün, für das let Auge auch aus Gelb und Blau herzustellen sind, und dasselbe läfst sich eb für sämmtliche Mischungen aus Blau, Roth und Grün beweisen. Da en aus Roth, Gelb, Grün, Blau sämmtliche Farbentöne für das gesunde A mischbar sind, sind es für das farbenblinde alle Farbentöne aus Gelb und B

Sind die Farben in der Ebene nach den Principien der Schwerpunktsconstru geordnet, so müssen alle solche Farben, welche den Farbenblinden bei passe Lichtstärke gleich erscheinen, in einer geraden Linie liegen, da auf der Ve dungslinie zweier Farbenorte deren Mischfarben liegen, und diese von gleichem Fa ton erscheinen müssen, wenn die ursprünglichen Farben gleich aussehen. F läfst sich zeigen, dafs alle diese geraden Linien entweder parallel sind, oder in einem Punkte schneiden, und dafs die diesem Schnittpunkte angehörige F dem farbenblinden Auge unsichtbar sein mufs.

Es erscheine dem Farbenblinden die Quantität $r$ der in *R Fig. 150* befindl Farbe gleich der Quantität $g$ der in $G$ befindlichen. Nun ist

$$r = n r + (1 - n) r.$$

[1] W. Preyer, *Pflüger's Archiv.* Bd. I. S. 303—305. 1868.

[2] A. König, *Verhandl. d. Physik. Gesellsch. zu Berlin.* 1885. Nov. 6.

**Mit der Menge** $nr$ der Farbe $R$ ist gleich aussehend die Menge $ng$ der Farbe $G$; **also wenn** $n$ **ein ächter Bruch**, ist gleich aussehend die Menge $r$ der Farbe $R$ mit **der Mischung** $(1-n)r$ von $R$ und $ng$ von $G$. In der Farbenfläche ist diese **Mischfarbe** zu finden im Punkte $S$ der Linie $RG$, wenn 296

$$RS : SG = ng : (1-n)r \quad \ldots\ldots\ldots 1)$$

**und** die Quantität $s$ der so gewonnenen Mischfarbe ist

$$s = ng + (1-n)r.$$

**Das Aussehen** dieser Quantität $s$ von der Farbe $S$ ist **für das farbenblinde** Auge unabhängig von dem Werthe **von** $n$.

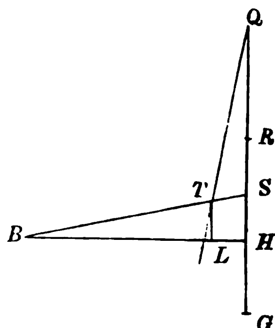


*Fig. 150.*

Wenn wir nun die Quantität $b$ der Farbe $B$ mit **der Quantität** $s$ der Farbe $S$ mischen, so erhalten wir **eine Mischfarbe**, deren Aussehen für das farbenblinde **Auge unabhängig** von der veränderlichen Gröſse $n$ ist. **Der Ort** der Farbe sei $T$, ihre Menge $t$, so ist

$$t = b + s = b + ng + (1-n)r$$

$$TS : BT = b : s = b : [ng + (1-n)r] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 1a).$$

**Fällen wir** aus $B$ das Loth $BH$ auf $RG$ und aus $T$ das Loth $TL$ auf $BH$, **nennen wir**

$$LH = x \qquad BH = h$$
$$TL = y \qquad HG = a$$
$$RG = c$$

**so ist** nach 1a)

$$\frac{x}{h} = \frac{LH}{BH} = \frac{TS}{BS} = \frac{b}{b + ng + (1-n)r} \quad \ldots\ldots\ldots 1b)$$

$$\frac{y}{h-x} = \frac{TL}{BL} = \frac{SH}{BH} = \frac{SG-a}{h}.$$

Nun folgt aus 1)

$$SG = c \cdot \frac{(1-n)r}{ng + (1-n)r},$$

also

$$\frac{y}{h-x} = \frac{(c-a)(1-n)r - ang}{h[ng + (1-n)r]} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 1c).$$

wenn man aus 1b) und 1c) die veränderliche Gröſse $n$ eliminirt, so erhält man eine Gleichung zwischen den rechtwinkeligen Coordinaten des Punktes $T$, nämlich

$$0 = ybh(g-r) - x[crg + br(c-a) + abg] + bh[(c-a)r + ag] \quad \ldots 1d).$$

Da dies eine lineare Gleichung zwischen den rechtwinkeligen Coordinaten $x$ und $y$ ist, so liegen die betreffenden Orte $T$ der für das farbenblinde Auge gleichaussehenden Mischfarben in einer geraden Linie. Es sei $TQ$ diese gerade Linie, $Q$ ihr Schnittpunkt mit der Richtung $RG$, so ist $QH = y_0$ der Werth, welchen $y$ annimmt, wenn man $x = 0$ setzt

$$y_0 = \frac{(c - a)r + ag}{r - g} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 1e).$$

Dieser Werth von $y_0$ ist unabhängig von der Quantität $b$ der zugemischten Farbe $B$,
297 also schneiden sich alle geraden Linien, welche gleich aussehende Mischfarben von $R$, $G$ und $B$ enthalten, in demselben Punkte $Q$, oder sind sich parallel, wenn $r = g$ und also $y_0$ unendlich.

Die Entfernung des Schnittpunktes $Q$ vom Punkte $R$ ist

$$y_0 - c + a = \frac{cg}{r - g} = QR \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 1f).$$

Mischen wir eine Quantität $q$ der Farbe $Q$ mit der Quantität $g$ der Farbe $G$, so dafs die Farbe $R$ entsteht, so mufs sein

$$\frac{QR}{RG} = \frac{g}{q}$$

oder nach 1f) da $RG = c$

$$\frac{g}{r - g} = \frac{g}{q}$$

$$q = r - g.$$

Die Quantität der Mischfarbe $R$ wird dann

$$r = g + q.$$

Da nun $r$ nach der Voraussetzung dem farbenblinden Auge gleichaussehend ist mit $g$, die Quantität $q = r - g$ aber im allgemeinen nicht Null ist, so folgt daraus, dafs das farbenblinde Auge die Farbe $Q$ gar nicht empfinden kann.

Der Schnittpunkt der geraden Linien, welche die gleichaussehenden Farben enthalten, fällt also in den Ort einer Farbe, welche dem farbenblinden Auge fehlt.
„ Aber es ist hierbei nicht ausgeschlossen, dafs diese fehlende Farbe auch dem normalen Auge fehlen könnte, und das Gewicht Null hätte. Das würde heifsen, dafs zwei der Grundempfindungen des normalen Auges dem farbenblinden durch alle Reizmittel gleich stark erregt würden. In der That ist es neuerdings wahrscheinlich geworden, dafs in dieser Richtung die Lösung des Räthsels zu suchen ist.

Die älteren Erklärungsversuche der Farbenblindheit gingen von der erstgenannten Annahme aus, dafs den dichromatischen Augen eine der Grundempfindungen fehlte. Ich habe dies in der ersten Auflage dieses Handbuchs selbst angenommen.

298 In der Young'schen Hypothese könnte die dem farbenblinden Auge unsichtbare Farbe natürlich nur eine der Grundfarben sein; denn wenn alle Grundfarben empfunden werden, kann keine andere Farbe, die ja aus den

irundfarben zusammengesetzt ist, fehlen. Wenn man nun diejenigen Farben ufsucht, welche dem Weifs (beziehlich Grau) gleich erscheinen, so werden lies Farben sein, die für das gesunde Auge entweder Farben vom Farbentone ler fehlenden Grundfarbe oder von ihrer Complementärfarbe sind, in verchiedenen Graden mit Weifs gemischt. Denn alle diese dem Weifs gleich rscheinenden Farben müssen auf einer geraden Linie liegen. Jede gerade Linie aber, die in der Farbenfläche durch den Ort des Weifs gezogen ist, nthält in jeder ihrer beiden Hälften Farben von gleichem Farbentone und erschiedenen Graden der Sättigung. Die Farben der einen Hälfte sind ber denen der anderen complementär. Jede solche Linie, welche gleich rscheinende Farben enthält, mufs aber auch, wie eben bewiesen, durch den Ort der fehlenden Grundfarbe gehen, folglich in ihrer einen Hälfte die Farben vom gleichen Farbentone mit der Grundfarbe enthalten. Bei den Versuchen, welche ich mit Herrn M. anstellte, zeigte sich, dafs dem reinen Grau gleich erschien ein Roth, welches sehr nahe dem äufsersten Roth des Spectrum im Farbentone entsprach (38° Ultramarin, 322° Zinnoberroth), vielleicht ein wenig nach der Seite des Purpur abwich, und ein entsprechendes, complementäres Blaugrün (59° Ultramarin, 301° Parisergrün). Maxwell hat ähnlich gefunden für das Roth 6° Ultramarin, 94° Zinnober, für das Grün 40° Ultramarin, 60° Parisergrün. Da nun aufserdem das Roth für normale Augen viel dunkler erschien als das Grau, dieses aber heller als las Grün, so wird kein Zweifel bleiben, dafs das Roth und nicht das Grün ler fehlenden Farbe entsprechen mufste. Die Rothblindheit würde also nach 298
Young's Hypothese für eine Lähmung der rothempfindenden Nerven zu erklären sein.[1]

Wenn nun wirklich ein dem äufsersten Roth des Spectrum nahe stehendes Roth die eine Grundfarbe ist, so können die beiden anderen wenigstens icht bedeutend von dem von Young gewählten Grün und Violet abweichen.

Daraus würde nun folgen, dafs die Rothblinden nur Grün, Violet und hre Mischung, das Blau, empfinden. Das spectrale Roth, welches nur chwach die grünempfindenden, fast gar nicht die violetempfindenden Nerven u erregen scheint, müfste ihnen danach als gesättigtes, lichtschwaches Grün erscheinen, und zwar gesättigter als uns das wirkliche Grün des Spectrum erscheint, dem schon merkliche Mengen der anderen Farben beigemischt sein müssen. Lichtschwaches Roth, welches die rothempfindenden Nerven der normalen Augen noch genügend erregt, erregt dagegen ihre

---

[1] So viel ich finden kann, gebührt Herrn W. Preyer (vergl. W. Preyer, *Pflüger's Archiv*, 25, S 31, 1881; auch separat erschienen unter dem Titel: *Über den Farben- und Temperatursinn besonderer Rücksicht auf Farbenblindheit*. Bonn 1881) das Verdienst, zuerst auf die Priorität Young's Betreff der Erklärung der sog. „Farbenblindheit" durch das Fehlen oder die Lähmung einer der drei erarten der Netzhaut hingewiesen zu haben. Young spricht die hier erwähnte Auffassung aus in einer merkung, die er in dem von ihm herausgegebenen „*Catalogue of works relating to natural philoe and the mechanical arts*" an die von J. Dalton verfafste Abhandlung „*on some facts relating to the of colours* (*Memoires of Lit. and Phil. Soc. of Manchester* V. 28)" anknüpft. Die bezügliche Stelle et: „it is much more simple to suppose the absence or paralysis of those fibres of the retina, which calculated to perceive red".

grünempfindenden Nerven nicht mehr genügend, und erscheint ihnen deshalb schwarz.

Spectrales Gelb würde als lichtstarkes gesättigtes Grün erscheinen, und da es eben eine lichtstärkere und beinahe gesättigte Abstufung dieser Farbe bildet, erschiene es erklärlich, dafs danach die Rothblinden den Namen der Farbe wählen, den sie von Andern dafür brauchen hören, und alle diese eigentlich grünen Töne Gelb nennen.

Grün wird schon im Vergleich zu den vorigen eine Einmischung von der anderen Grundfarbe zeigen, also eine zwar lichtstärkere aber weifsliche Abstufung derselben Farbe sein wie Roth und Gelb. Die gröfste Lichtintensität des Spectrum erscheint den Rothblinden nach den Beobachtungen von Seebeck auch nicht wie normalen Augen im Gelb, sondern im Grünblau. In der That, wenn die Erregung der grünempfindenden Nerven, wie wir voraussetzen müssen, im Grün am stärksten ist, wird für die Rothblinden das Maximum der gesammten Erregung etwas nach der Seite des Blau fallen, weil hier die Erregung der violetempfindenden Nerven steigt. Weifs im Sinne der Rothblinden ist natürlich eine Mischung ihrer beiden Grundfarben in einem bestimmten Verhältnifs, welche uns grünblau erscheint, daher sie denn auch die Übergangsstufen im Spectrum von Grün zu Blau für graue Farben erklären.

Weiter im Spectrum gewinnt die zweite Grundfarbe das Übergewicht, die sie Blau nennen, weil das Indigblau, wenn auch in ihrem Sinne noch etwas weifslich, doch durch seine Lichtstärke ihnen ein mehr in die Augen fallender Repräsentant dieser Farbe sein wird als das Violet. Sie erkennen den Unterschied im Aussehen zwischen Blau und Violet. Der von Seebeck untersuchte H. wufste die Grenze zu zeigen, erklärte aber, er würde das Violet lieber Dunkelblau nennen. Übrigens müssen ihnen die blauen Töne ziemlich ebenso erscheinen, wie den normalen Augen, weil hier auch für diese die Einmischung des Roth sehr klein sein wird.

Da ihnen alle diese Farben des Spectrum noch gewisse, wenn auch feinere Unterschiede zeigen müssen, ist es erklärlich, dafs sie bei gröfserer Aufmerksamkeit und Übung auch wohl lernen, sehr gesättigte Farben richtig zu benennen. Bei weifslicheren Farben aber müssen die genannten Unterscheidungsmerkmale sie im Stich lassen; da können sie sich der Verwechselung nicht entziehen.

Da es immerhin zweifelhaft erscheint, welchen Empfindungen des normalen Auges die beiden Farbenempfindungen der Dichromaten entsprechen, so hat Herr Donders vorgeschlagen, nach dem Sprachgebrauche der Maler die der rothen weniger brechbaren Hälfte des Spectrum entsprechende Farbe als die warme Farbe, die der blauen Hälfte als die kalte Farbe zu bezeichnen, wie auch wir im Folgenden thun wollen.

Da man jede Farbe des dichromatischen Auges aus den zwei Grundfarben des Spectrum mischen kann, so ist die Aufgabe, die Curve der

dempfindungen durch Messungen zu bestimmen, für diese Augen viel eher, als für die dreifarbigen. Es war das schon nach einer von ders vorgeschlagenen Methode durch Herrn van der Weyde[1] geschehen, ist dann von den Herren A. König und C. Dieterici[2] ebenfalls durchhrt worden mit geringen Abweichungen in den Resultaten, die sich aus etwas anderen Wahl des als normal betrachteten Weifs zu erklären inen.

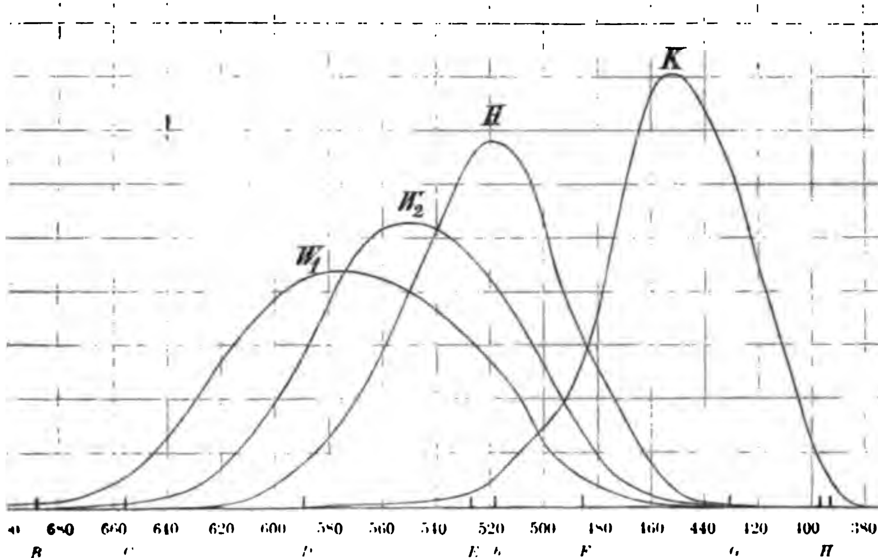



*Fig. 151.*

In *Fig. 151* sind unter $W_1$ und $K$ die Curven für die beiden Empfinen zweier Grünblinden dargestellt (Herr W. Waldeyer und E. Brodhun), nd $W_2$ und $K$ die für zwei Rothblinde (Herrn L. Kranke und Herrn akaky) giebt. Die Curve $H$ endlich bezieht sich auf ein monochromaAuge, welches gar keine Farben und nur Helligkeiten unterscheidet. n der letzteren Art sind verhältnifsmäfsig selten und auch in andern hungen als leidend und krank zu bezeichnen.

Die Erklärung der Dichromasie wurde bezweifelt, weil die augenärztlichen rsuchungen eine gröfsere Mannigfaltigkeit von Fällen anzuzeigen schienen, ler Annahme des Mangels einer der Grundempfindungen entspricht, auch die extremen Fälle, welche man als Rothblindheit oder Grünheit bezeichnen kann, verhältnifsmäfsig häufiger constatirt wurden, als bergänge zwischen beiden. Aber sowohl die scheinbar weifse Stelle

[1] A. van der Weyde, [illegible] 3 R. B. 1. 1881. [illegible] Bd. 28. 1. S. 1. 1882.

[2] A. König und C. Dieterici, [illegible] vom 29. Juli 1886, Seite [illegible].

des Spectrum fiel in verschiedene Wellenlängen hinein, als auch variirte das Roth einerseits, und Blaugrün andrerseits, welches auf der Farbenscheibe dem Grau gleichaussehend erschien, während dabei doch einzelne dichromatische Beobachter eine grofse Sicherheit und Feinheit in der Unterscheidung derjenigen Unterschiede zeigten, die sie überhaupt erkennen konnten, zum Theil sogar eine gröfsere Sicherheit, als die Trichromaten mit ihrem verwickelteren Farbensystem.

Die genaueren mit dem Apparate zur Mischung der Spectralfarben angestellten Versuche der Herren A. König und C. Dieterici haben dagegen, obgleich sie sich auf eine grofse Zahl von Farbenblinden bezogen, Übergangsfälle noch nicht gezeigt, sondern alle liefsen sich unzweifelhaft in die Klasse der Rothblinden oder in die der Grünblinden einreihen; wobei die Individuen jeder Klasse unter einander nur verhältnifsmäfsig geringe Abweichungen zeigten.

Auch in *Fig. 151* sind die Höhen der Curven so gewählt, dafs die Mengen beider Grundfarben, die sich zu Weifs vereinigen, gleich grofs genommen sind. Deshalb sind auch hier die Stellen, welche den beiden Arten dichromatischer Augen weifs erscheinen müssen, diejenigen, wo sich die Curve des entsprechenden *W* mit der Curve *K* schneidet. Sie liegen ziemlich nahe zusammen über etwa 502 bis 492 $\mu\mu$ der Grundlinie. Da nun diese Stelle aufserdem genau in das Band der starken Absorption des gelben Flecks fällt, so erklärt sich daraus der Umstand, dafs die Wellenlänge der weifs erscheinenden Farbe bei den Dichromaten etwas schwankend ist, und sich Fälle beider Seiten gelegentlich der Mitte des schmalen Intervalls nähern. Daher ist in der That die Wellenlänge der weifs erscheinenden Spectralfarbe kein scharfes Merkzeichen für den Unterschied beider Klassen.[1]

Die wichtigste Frage für die Theorie ist hierbei die, ob im dichromatischen Auge die Curven, welche die Abhängigkeit der drei Elementarerregungen von den Wellenlängen darstellen, unveränderlich und unverändert seien. Dies schien allerdings aus der Erfahrung hervorzugehen, dafs wenigstens im Gebiete der stärker gemischten Körperfarben die Dichromaten keine Unterschiede machen zwischen Farbenpaaren, die den Trichromaten gleich erscheinen. Freilich darf man diesen Satz nur als sehr angenähert richtig betrachten. Derselbe, ganz streng genommen, würde zunächst erfordern, dafs alle trichromatischen Augen in ihren Aussagen über Farbenmischung unter einander übereinstimmten, was durchaus nicht der Fall ist. Jedenfalls müssen wir hierbei zunächst die zweite Klasse der trichromatischen Augen ausscheiden. Einfaches Natriumlicht und eine Mischung von Grün und Roth, die der einen Klasse gleich erscheinen würde, wird von der anderen unterschieden. Aber auch bei den Beobachtungen mit dem Leukoskop,[2] wo man zwei complementäre Farben, welche dickere Quarzplatten im polarisirten Licht geben, möglichst nahe gleich unter einander zu machen strebt, zeigen sich kleine Unter-

[1] A. König, *Graefe's Archiv für Ophthalm.* Bd. 30(2) S. 155. 1884 und *Wiedemann's Annalen* Bd. 22. [illegible] 1884.

[2] [illegible] *Zur Farbenlehre.* Dissertation. Göttingen, 1878.
A. König, *Wiedemann's Annalen* Bd. 17. p. 990. 1882. – *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 1883. p. 20.
E. Brodhun, *Wiedemann's Annalen.* Bd. 34. p. 897. 1888.

iede bei fast allen trichromatischen Beobachtern ebenso in der Verschieden-it der Curven der *Fig. 145* für verschiedene Beobachter. Färbung der Augen-dien würde allerdings solche Veränderungen der Curven auch hervor-ngen können, weil dadurch die Lichtintensität verschiedener Theile des ectrum in verschiedenem Maafse geändert werden würde. Aber e so starke Absorption, wie sie vorhanden sein müfste, um den terschied der beiden Klassen der Trichromaten zu erklären, wo bis zu ei Dritteln der einen Farbe bei der einen oder andern Klasse absorbirt rden müfsten, würde sich nur durch eine hochgradige blaugrüne oder enrothe Färbung der Augenmedien erklären lassen, die sicher nicht da . Unter diesen Umständen kann es nicht zweifelhaft sein, dafs es Fälle bt, wo die Intensität der Erregung jeder Grundfarbe in verschiedenen ıgen eine verschiedene Function der Wellenlänge des Lichts ist, und unte hierin auch der Grund der verschiedenen Gestalt der Curven in *ig. 149* für verschiedene Beobachter gesucht werden.

Wenn wir dabei von der Hypothese der Erregung der Netzhaut durch photo-emische Zersetzungen ausgehen, so könnte man an Änderungen in der Beschaffenheit ler Mischung solcher Substanzen denken, die in den Endelementen der Netzhaut gen, wodurch die Abhängigkeit ihrer Zersetzbarkeit von der Wellenlänge geändert erden könnte. Wie sehr eingreifende Änderungen in dieser Beziehung bei den ilbersalzen, je nach der Art der Präparation oder bei Zumischungen fremder Stoffe n erzielen sind, haben die neueren Fortschritte der Photographie gezeigt.

Während nun die Eigenthümlichkeit der anomalen Trichromaten dadurch rklärt werden könnte, dafs ihre grünempfindliche Substanz der rothempfindlichen hnlicher geworden ist, würden sich dichromatische Augen ergeben, wenn der nterschied beider Substanzen ganz verschwände, wobei sie entweder beide der ormalen rothempfindlichen, oder beide der normalen grünempfindlichen ähnlicher urden. Die Gehirnapparate könnten dabei unverändert functioniren.

Unter diesen Umständen würde in beiden Klassen von Farbenblinden jedes icht der normalen Endstrecke und Zwischenstrecke die Empfindung erregen, elche das normale Auge im Gelb hat, und in der Mittelstrecke würde dies Gelb urch Zumischung von Violet weifslicher werden, in der brechbareren Endstrecke ur Violet übrig bleiben. Dagegen würden sich die beiden Klassen dadurch unter-heiden, dafs für die, deren Grüncurve in die Rothcurve hinübergegangen ist, die arben des rothen Endes verhältnifsmäfsig lichtstark erscheinen, die des mittleren rün dagegen lichtschwächer. Diese würden SEEBECK's Grunblinden entsprechen.

Wenn dagegen die Rothcurve zur Grüncurve hinübergewandert ist, hätten wir ringe Empfindlichkeit für das Licht des rothen Endes zu erwarten, vermehrte r das mittlere Grün. Es würde dies dem Zustande der Rothblindheit ent-rechen. Dazwischen könnten Übergänge vorkommen. Doch scheinen, wie schon merkt, die Übergänge mindestens viel seltener zu sein, als die an beiden Grenzen genen Fälle.

Wenn man ein trichromatisches Auge und ein dichromatisches vergleicht n denen letzteres alle Farbengleichungen des ersteren als richtig anerkennt, d die beide NEWTON's Gesetze folgen, so würden die Schlüsse, die oben

S. 363 und 364 gezogen sind, streng richtig sein. Die dem dichromatischen Auge fehlende Grundfarbe wäre dadurch zu finden. Wie schon erwähnt, haben die älteren Farbenmischungsversuche auf den rotirenden Scheiben in dieser Beziehung eine gute Übereinstimmung zwischen den Farbengleichungen der normalen Trichromaten und der Dichromaten ergeben. Diese bestätigt sich aber auch für die Mischungen von Spectralfarben in den Versuchsreihen von A. König und C. Dieterici. Diese haben gefunden, daſs man bei der Annahme etwas anderer Grundempfindungen als der anfangs gewählten beiden Grenzfarben des Spectrum die beiden dichromatischen ziemlich gut mit denen der normalen trichromatischen Augen vereinigen kann, der älteren Hypothese entsprechend, wonach bei den Dichromaten eine der Grundempfindungen fehlen sollte. Die hierzu nöthigen Grundfarben wären, wenn wir mit $\mathfrak{R}$, $\mathfrak{G}$, $\mathfrak{B}$ die der normalen Trichromaten bezeichnen:

$$\mathfrak{R} = \frac{R - 0{,}15 \,.\, G + 0{,}1 \,.\, V}{0{,}95}$$

$$\mathfrak{G} = \frac{0{,}25 \,.\, R + G}{1{,}25}$$

$$\mathfrak{B} = V.$$

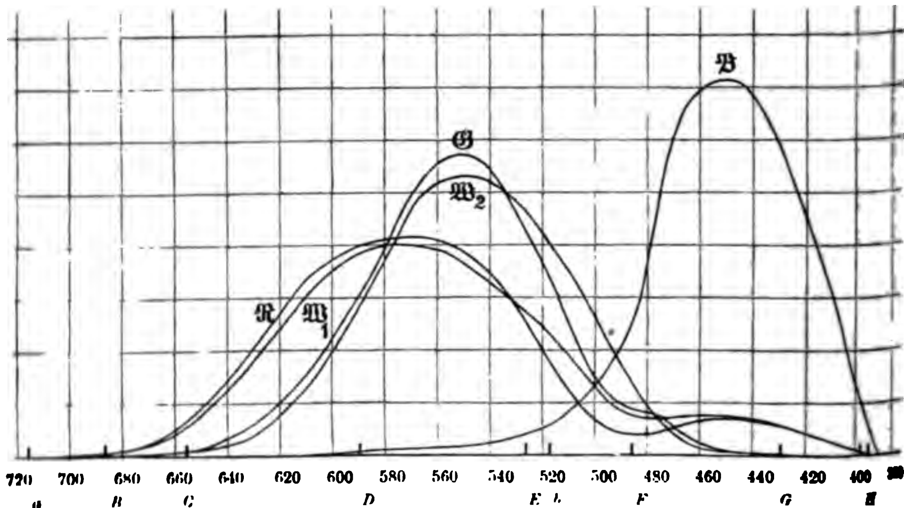



*Fig. 152.*

Das Roth hierfür wäre also etwas mehr zum Purpur hinüberziehend, als das äuſserste Roth des Spectrum. Diese Curven sind in *Fig. 152* dargestellt. $\mathfrak{R}$, $\mathfrak{G}$, $\mathfrak{B}$ wären die Curven der von den genannten Beobachtern neu gewählten Grundempfindungen für die normalen Trichromaten, $\mathfrak{W}_2$ und $\mathfrak{B}$ für die Rothblinden, $\mathfrak{W}_1$ und $\mathfrak{B}$ für die Grünblinden. Die anomalen Trichromaten und die Monochromaten sind aber nicht in dieser Weise unter-

bringen; bei ihnen müssen wirklich individuelle Änderungen in der Abngigkeit der Empfindlichkeit von der Wellenlänge vorkommen. Die ersteren ben dem entsprechend auch weit abweichende Farbengleichungen. Die zteren können überhaupt keine solche geben.

Die Darstellung des Farbendreiecks in *Fig. 139* bezieht sich auf diese zte Art der Berechnung aus den Elementarfarben 𝔑, 𝔊 und 𝔙. Es ist rbei zu beachten, dafs die beiden Endfarben des Spectrum, welche die iden Beobachter zuerst als *R* und *V* gebraucht haben, reelle Farben sind, e nach YOUNG's Theorie nur aus positiven Werthen der Grundfarben zummengesetzt sein können. Ihr ursprüngliches elementares Grün ist dagegen ir eine Rechnungsgröfse, welche auch negative Bestandtheile enthalten innte. Wenn man aber negatives Roth darin annimmt, würde dieses sich n dem positiven Roth der Rotheurve abziehen können, so weit diese icht. Jenseits ihres brechbaren Endes aber müfste dann auch positives oth in Violet angenommen werden, damit nirgends negatives Roth übrig liebe. Ähnlich, wenn man negatives Violet im erstgefundenen Grün anahme, müfste auch das spectrale Roth eine Zumischung von positivem iolet enthalten. In dieser Weise sind die Annahmen, die man über die usammensetzung der erstgewählten Elementarfarben aus Grundfarben machen önnte, doch einigermafsen eingeschränkt.

Was die Untersuchung Farbenblinder betrifft, so wird durch Fragen, wie sie 299
liese oder jene Farbe nennen, natürlich nur aufserordentlich wenig ermittelt werden, enn die Farbenblinden befinden sich in der Lage, das System von Namen, welches ur die Empfindungen des normalen Auges zurecht gemacht ist, auf ihre Empfinlungen anwenden zu müssen, für die es nicht pafst. Es pafst nicht nur nicht, eil es zu viele Namen für Farbentöne enthält, sondern in der Reihe der Spectralarben bezeichnen wir Unterschiede als solche des Farbentons, die für die Farbenlinden nur Unterschiede der Sättigung oder der Lichtstarke sind. Ob das, was ie Gelb und Blau nennen, unserem Gelb und Blau entspricht, ist durchaus zweifelaft. Deshalb erfolgen ihre Antworten auf Fragen über Farben meist langsam und rtlegen, und erscheinen uns verwirrt und widersprechend.

Viel besser, aber doch noch sehr unzureichend ist die Methode von SEEBECK, en Farbenblinden eine Auswahl gefärbter Papiere oder Proben von Stickwolle zu eben mit der Aufforderung, sie nach ihrer Ähnlichkeit zusammen zu ordnen. Aber die Anzahl der Farbenproben müfste ungeheuer grofs sein, wenn darin die harakteristisch verwechselten Farbentöne auch genau gerade in der nöthigen Verrischung mit Weifs, und der nöthigen Helligkeit vorkommen sollen, dafs die vollständige Gleichheit für das farbenblinde Auge erzielt wird. So lange aber nur Ähnlichkeit da ist, wird man sich schwer darüber verständigen, ob die Differenz ne des Farbentons, oder der Sättigung, oder der Helligkeit ist. Man wird also ur durch Zufall einige wenige bestimmte Resultate erhalten können.

Dagegen erlaubt der nach MAXWELL's Methode eingerichtete Farbenkreisel hneil die nothwendigen Data mit grofser Genauigkeit zu erhalten, weil man sehr echt eine Reihe von Farben durch Mischung erzeugen kann, die dem farbenblinden nge vollkommen gleich erscheinen. Dabei ist die Hauptsache, die den Grundarakter des Mangels bezeichnet, zu ermitteln, welche zwei Farben mit reinem

[illegible] Weiß und Schwarz auf dem Kreisel [illegible] dem farbenblinden Auge ver- [illegible] wäre die fehlende Grundfarbe. [illegible] noch ein gewisser Rest von Em- [illegible] ist.

[illegible] Bestimmung der wesentlichen Züge [illegible] schon oben S. 361 erwähnte [illegible] NICOL'schen Prisma und einem [illegible] vergleichen. Man läfst den Nicol [illegible] Farben gleich erscheinen. [illegible] sehr gut und vollständig lassen sich [illegible] (Siehe oben S. 368), einem [illegible] eingeschalteten Quarze geändert [illegible] Nicol gemacht werden können. [illegible] die von der Temperatur der [illegible] des Lichts ein Maafs zu ge- [illegible] Quarzdicken überhaupt keine [illegible] Farben, d. h. keine von [illegible] ziemlich gut so einstellen, dafs [illegible] Dabei zeigen sich aber [illegible] den beiden Augen desselben [illegible] Gleichheit ein, und der [illegible] ein Maafs für die Art ihrer

[illegible] prüfen, so mufs man ferner [illegible] Hauptfarben des Spectrum, [illegible] Farben zusammengesetzt werden

[illegible] gemacht, wie gefährlich die [illegible] konne, wo es darauf an- [illegible] Durchschnitt einen Farbenblinden

## [illegible] Netzhautperipherie.

[illegible] vollständigen Dichromaten kommen [illegible] bei den normalen Trichromaten [illegible] dem lateralen Theile der Netzhaut [illegible] das Bild des Nasenrückens empfängt. [illegible] den Kopf zu drehen, stark nach rechts [illegible] Papiers von etwa 3 bis 10 cm Seite [illegible] der Seite her vorschiebt, so dafs es [illegible] das Gesichtsfeld begrenzenden Nasenrücken [illegible] eine äufserste Zone, in der überhaupt [illegible] auch nicht Ultramarinblau von einem

[illegible] 1884 Decemberheft.

ifsig dunklen Grau, und wo überhaupt alle Farben nur als Abstufungen r Helligkeit von bläulichem Grau erscheinen, Roth am dunkelsten. Man ht an dieser Stelle des Sehfeldes auch die Umrisse verhältnifsmäfsig hlecht. und erkennt nur gröfsere, namentlich bewegte Objecten. Aber der rbeneindruck fehlt doch noch an Stellen, wo man die Umrisse der helleren ınd. die noch weiter nach den Grenzen des Gesichtsfeldes hin liegt als farbige Papier, erkennen kann. Man mufs natürlich dafür sorgen, dafs betreffenden Papiere von vorn voll beleuchtet sind, und auch, um das löschen der Farben durch Nachbilder zu vermeiden, sie hin und her begen dem Rande des Gesichtsfeldes parallel. Der Hintergrund, auf den sich projiciren. mufs dunkel sein.

Weiter gegen die Mitte des Gesichtsfeldes schliefst sich daran eine ne, in der der Unterschied von gelb und blau deutlich hervortritt, dagegen sättigtes Roth fast schwarz oder dunkelgelbbraun, Blattgrün gelblich weifs scheint. Zwischen diesen beiden Zonen ist für mein Auge die Grenze emlich scharf. ja bei schmalen Objecten scheint mir das auftauchende elb plötzlich etwas anders localisirt, als das vorher graue Bild hervorzuringen, so dafs das Gesammtbild eine Art plötzlichen Ruckes erleidet, ls ob es über eine Falte der Netzhaut spränge. Endlich noch weiter der litte zu tritt auch der Gegensatz zwischen Roth und Grün voll zur Ercheinung.

Auch die Herren Schelske[1], Aubert[2], Klug[3], J. v. Kries[4] haben mit eringen Abweichungen übereinstimmende Angaben gemacht. Der erstgeannte hat auch mit spectralem Licht beobachtet, wobei spectrales Gelb nd Blaugrün (Linie $F$) durch grünlichere Farbentöne hindurchgingen, ehe ie farblos wurden. Er mafs auch die Winkelausdehnung, und fand für die ormale Empfindung an der Nasenseite des Gesichtsfeldes 53°, an der chläfenseite 68°, nach oben 38°, nach unten 37°. Derselbe hat auch arbengleichungen für die rothblinde Zone der Netzhaut mittels rotirender cheiben hergestellt. und diese dem Zustande eines dichromatischen Auges ntsprechend gefunden.

Die Benennungen, welche wir den Farbeneindrücken auf der Peripherie ler Netzhaut geben, erklären sich am leichtesten unter der Annahme, dafs n der rothblinden Zone die rothempfindliche, photochemische Substanz der rünempfindlichen ähnlich geworden sei, in der äufsersten Zone alle drei inander gleich. Dieselben Bezeichnungen sind übrigens auch von den 'atienten in denjenigen seltenen Fällen für die Farben des dichromatischen ystems angewendet worden, wo ein früher trichromatisches Auge durch rkrankung dichromatisch wurde, oder von den beiden Augen desselben ndividuum eines dichromatisch, das andre trichromatisch war.

[1] R. Schelske, [illegible] IX, 3, S. 39.
[2] H. Aubert, [illegible] S. 511.
[3] Klug, [illegible] XXXI, 1.
[4] J. v. Kries, [illegible] Leipzig. 1882. S. 93.

| | Roth. | | | | Blau. | | | | Gelb. | | | | Grün. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Seite des Quadrats | 1. | 2. | 4. | 8. | 1. | 2. | 4. | 8. | 1. | 2. | 4. | 8. | 1. | 2. | 4. | 8. |
| Weifser Grund | 16° | 19° | 26° | 37° | 15° | 22° | 36° | 49° | 21° | 31° | 44° | | 20° | 36° | 44° | 50° |
| Schwarzer Grund | 30 | 32 | 42 | 53 | 36 | 48 | 54 | 72 | 30 | 32 | 49 | 47° | 24 | 27 | 35 | 45. |
| Mittel | 23 | 26 | 34 | 45 | 26 | 35 | 45 | 61 | 26 | 32 | 42 | | 22 | 32 | 40 | 47 |

Dabei ist zu bemerken, dafs der Farbenton desto eher verschwindet, je stärker die Verschiedenheit der Helligkeit von der des Grundes ist, woher die Unterschiede zwischen den Resultaten auf weifsem und schwarzem Grunde rühren. Das Blau war die dunkelste der von Aubert benutzten Farben.

Ehe die Farben ganz verschwinden, erleiden sie noch eine ähnliche Änderung des Farbentons, wie bei der Vermehrung ihrer Intensität. Roth und Grün werden nämlich sehr deutlich Gelb, Blau scheint direct in Grauweifs überzugehen. Ich komme auf diese Erscheinungen noch einmal im nächsten Paragraphen zurück.

### Grenzen der Genauigkeit für das Farbenmischungsgesetz.

Das Gesetz der ungestörten Superposition der Elementarerregungen ist offenbar ein verhältnifsmäfsig recht genauer Ausdruck eines breiten Gebietes von Erscheinungen, und hatte sich den älteren Beobachtungsmethoden gegenüber vollkommen bewährt, namentlich wo man die matteren Farbengegensätze und geringen Lichtstärken von Pigmentfarben für die Versuche benutzte. Kleinere Abweichungen sind bei diesen schon deshalb nicht sicher festzustellen, weil kleine Änderungen in der Mischung des beleuchtenden Lichtes die Farbengleichungen etwas zu verändern im Stande sind. Die neueren genau messenden Versuche mit Spectralfarben scheinen aber doch zu zeigen, dafs die Genauigkeit von Newton's Gesetz keine unbeschränkte ist.

Die ersten Beobachtungen dieser Art sind an Dichromaten gemacht worden, von Preyer[1], A. König[2], van der Weyde[3]. Sie ergaben, dafs die bei schwächerer Beleuchtung weifs erscheinende Farbe des Spectrum bei gröfserer Helligkeit gelblicher erschien, und durch eine bläulichere ersetzt werden mufste, um dem Weifs des beleuchteten Lichtes gleich zu bleiben. Farbengleichungen zwischen einer einfachen mittleren Spectralfarbe, und einem Gemisch von zwei andern hat dann Herr E. Brodhun[4] (grünblind) unter Herrn A. König's Leitung aufgestellt, und dabei ebenfalls gefunden, dafs bei steigender Intensität mehr von der wärmeren Farbe genommen

[1] W. Preyer. Pflüger's Archiv Bd. 25 S. 31. 1881.
[2] A. König. Wiedemann's Annalen Bd. 22 S. 561. 1884 [illegible] für Ophthalm. Bd. 30 2 S. 155. 1884.
[3] A. J. van der Weyde. Onderzoekingen Physiol. Labor. Utrecht. R. [illegible] D. VII Bl. 1 1881.
[4] A. König. Sitz. Berichte d. Akademie zu Berlin. 1887. 31. März. S. 311.

werden mufste, um die Gleichung wiederherzustellen. Die Änderungen Lichtintensität wurden dabei in verschiedener Weise vorgenommen, um Änderung der Wellenlänge der verglichenen Farben auszuschliefsen, t durch geänderte Stellung der Nicols, theils durch Erweiterung des Oc spalts, theils durch die der Collimatorspalten. Diese Erweiterung der Sp erfolgte, der Einrichtung des Apparats gemäfs, immer gleichmäfsig beiden Seiten.

Andeutungen solcher Änderungen sind auch für trichromatische A wahrgenommen worden von Herrn ALBERT[2] und A. KÖNIG[3]. Letzterer aber nur, dafs die Unterschiede der Sättigung zwischen ungemischten fast ungemischten gelben Farbentönen und gemischten deutlicher schwacher Helligkeit erscheinen.

Bei der in § 18 erörterten grossen Veränderlichkeit der lichtempfindli Substanzen der Netzhaut erscheint eine Änderung ihrer photochemischen Zersetzba den verschiedenen Wellenlängen gegenüber nicht unmöglich. Machen wir die einfa Annahme, auf die uns schon die Existenz der anomalen Trichromasie geführt dafs eine Mischung zweier photochemisch verschiedener Stoffe an den Retinale der Sehnervenfasern vorkommen könne, und dafs von diesen beiden die eine d Licht schneller zerstört, beziehlich langsamer hergestellt werde, so würde inten Licht das Mischungsverhältnifs und damit auch die Form der Empfindlichkeitsc ändern können. Gerade bei Dichromaten, bei denen die eine Curve schon geän ist, und Uebergänge zwischen den beiden extremen Formen vorzukommen schei wäre eine solche grössere Veränderlichkeit der Mischung wahrscheinlicher.

Man könnte sich etwa denken, dafs in einer Gruppe von Netzhauteleme des normalen Auges grünempfindlicher Stoff in den rothempfindlichen regelm übergeführt werde, dafs in einzelnen Individuen dies nicht vollständig oder nicht gelingt. Diese würden rothblind sein. Wenn in anderen Individuen die andere Gruppe von Netzhautelementen, die gegen die Umwandlung gesc bleiben sollten, vollständig oder unvollständig in die Veränderung hineingez würde, so würde Grünblindheit oder anomale Trichromasie entstehen. Wenn st Lichtwirkung einen kleinen Theil der rothempfindlichen Substanz zunächst in grünempfindliche zurückführte, ehe diese weiter zerstört wird, würde das Maxi der Empfindlichkeit sich wieder dem Grün nähern, und dadurch der neutrale P des dichromatischen Spectrum gegen das Blau hin verschoben werden.

Ich gebe diese ganz hypothetische Betrachtung hier nur, um zu zeigen, die angeführten Thatsachen durchaus nicht NEWTON's Gesetz aufheben; sie wü nur zeigen, dafs dasselbe, ähnlich sehr vielen anderen Naturgesetzen, eine erste im hin sehr gute und innerhalb weiter Grenzen ausreichende Annäherung an die Wahrheit giebt.

E. HERING's Farbentheorie.

Diese viel besprochene Theorie ist eine Modification von YOUNG's The welche durch die Wahl anderer Grundempfindungen sich dem, was sie für unmi bare Thatsachen der inneren Beobachtung ansehen zu müssen glaubt, besser a

[2] E. ALBERT, *Wiedemann's Annalen*. Bd. XVI. S. 129. 1882.
[3] A. KÖNIG, *Sitz.-Ber. d. Berl. Akad.* 1887. 31. März S. 317.

liefsen versucht. Es werden darin auch drei Elementarempfindungen angenommen, an physiologische Vorgänge in drei verschiedenen Theilen des Nervenapparats oder r „Sehsubstanz“ gebunden sind. Mindestens zwei von diesen physiologischen Processen len aber den Gegensatz von positiv und negativ zeigen. Die eine dieser Sehbstanzen würde im Zustande der Erregung die Empfindung des Weifs geben, in m der Ruhe die des Schwarz, die zweite die beiden als „Gegenfarben“ bezeichten Empfindungen das Blau und Gelb, die dritte das zweite Paar der Gegenfarben th und Grün. Mit Roth bezeichnet aber Herr HERING eine Farbe, die bisher rpur genannt wurde, die Complementärfarbe des Grünen. Man kann Elementarregungen (das Wort in dem oben von uns definirten Sinne gebraucht) angeben, elche diesen HERING'schen Elementarempfindungen entsprächen, und aus denen sich le anderen zusammensetzen lassen würden.

Wenn man LAMBERT's Farbenpyramide zwischen drei rechtwinkeligen Coordinaten nstruirt denkt, so würde die die Weifsempfindung darstellende Coordinate $w$ etwa er Axenrichtung der Pyramide entsprechen, wie schon oben erörtert:

$$u = \sqrt{\frac{1}{3}}\left[x + y + z\right]$$

Die zweite Richtung, die den Gegenfarben Roth, Grün entspricht, würde in eine urch die Axe des Weifs und des Grün gelegte Ebene fallen, die dritte in eine enkrecht gegen diese durch die Axe des Weifs gelegte. Die Entfernung von der Roth-Weifs-Ebene wäre in diesem Coordinatensystem

$$v = \sqrt{\frac{1}{2}}\left(x - z\right)$$

Positives $v$ würde bei positivem Werthe der Wurzel der Empfindung Gelb, negatives $v$ dem Blau entsprechen. Die Entfernung von der Grün-Weifs-Ebene wäre

$$w = \frac{1}{\sqrt{6}}\left[x - 2y + z\right]$$

So wären drei lineare Functionen der Elementarempfindungen der YOUNGschen Theorie gewonnen, welche selbst als solche gebraucht werden könnten, und der Richtung nach den von Herrn HERING verlangten Elementarempfindungen entsprechen würden. Bei positivem Werthe der Wurzeln würde $u$ der Weifsempfindung, positives $v$ dem Gelb, positives $w$ dem Purpurroth entsprechen, negatives $v$ dem Blau, negatives $w$ dem Grünen.

Diese Gleichungen gebe ich hier nur deshalb in so bestimmter Form, um an ese Vorstellungen anzuknüpfen, da die Willkürlichkeit der zu wählenden Grundarben $x$, $y$, $z$ übrigens hinreichende Breite der Veränderlichkeit gewähren würde, um noch recht verschiedene Deutungen der Coordinaten $u$, $v$, $w$ im Sinne der HERING'schen Ansicht zuzulassen. Die Werthe der Coefficienten sind so gewählt, als die $u$, $v$, $w$ in demselben Längenmafsstab zu messen sind, wie die $x$, $y$, $z$.

Wenn wir für die Werthe der $x$, $y$, $z$ nur positive Grössen zulassen, ergiebt ch zunächst aus dem Werthe von $w$, dafs jede Art von Licht die Weifsempfindung positivem Sinne erregen mufs, dafs im Gegentheil keinerlei Art von objectivem

nicht die Empfindung einer der HERING'schen Gegenfarben rein erregen kann, dafs also diese Empfindungen der reinen unvermischten Gegenfarben solche sind, die wir nie gehabt haben, noch jemals werden haben können, und die durch einen viel breiteren [illegible] von Allem, was wir je empfunden haben, getrennt sind, als die von der YOUNG'schen Theorie geforderten Farbenempfindungen, welche etwas [illegible] Farben hinausreichen. Letzteren können wir, wie [illegible] werden, durch besondere Behandlung [illegible] annähern, während diese selben Methoden [illegible] Theorie zu erwartenden Erfolgs hervor[illegible] reinen Farbenempfindungen zu nähern [illegible]

[illegible] diesen Gleichungen dargestellten kurzen [illegible] auch Herr HERING an, dafs weifses [illegible] erregt, und diese immer in positive [illegible] die Blau-Gelb empfindende Substanz [illegible] in entgegengesetzter Weise. Wenn beide [illegible] haben sie dagegen keine Wirkung auf [illegible] die Erregungen der rothgrünen Seh[illegible]

[illegible] Herr HERING mit der Weifsempfindung [illegible] der reinen Blau- oder Gelbempfindung [illegible] Ich mufs gestehen, dafs ich per[illegible] von einer Farbe, die nicht irgend einen [illegible] hätte, und finde deshalb eine solche [illegible] System, welches sich in letzter Instanz [illegible] Anschauung berufen zu dürfen glaubt, und [illegible]

[illegible] reinen Empfindungen der Gegenfarben [illegible] auch nicht Empfindungen verschiedener [illegible] gesättigten und weifslichen Blaus [illegible] gleiche Intensität haben, die [illegible] Blau.

[illegible] entgegengesetzten Empfindungen betrachtet [illegible] des organischen Stoffwechsels, die Zer[illegible] (*Dissimilirung*) und die Wieder[illegible] dem Einflufs des Blutlaufs und des im [illegible] Sauerstoffs. Welche Farbe übrigens in [illegible] Substanzen der Assimilirung, welche [illegible] Die physiologischen Unwahr[illegible] schon oben erwähnt, theils werden [illegible] zurückkommen.

[illegible] hat Herr E. HERING ursprünglich auch [illegible] übertragen. Indessen bleibt er hier [illegible] Übereinstimmung, als in dieser Substanz

[illegible] älteren Darstellungen seines Systems zweifel[illegible] drei oder sechs unabhängige Variable zählte; nach [illegible] darf das im Text Gesagte wohl als zugegeben be[illegible]

les Licht nur Dissimilirung und die Empfindung von Weifs erregen soll, andererseits Mangel des Lichts nur Assimilirung d. h. Wiederherstellung der Erregbarkeit. Dafs während dieses letzteren Vorganges eine Empfindung der Dunkelheit wirklich entsteht, darüber sind wir alle einig. Hier ist die Differenz nur eine theoretische. Nach der älteren und auch von mir vertretenen Meinung, müssen wir, um wahrzunehmen, dafs es zur Zeit in einer bestimmten Richtung des Sehfeldes hell sei, auch unterscheiden können, dafs zu anderer Zeit diese Wahrnehmung fehle. Diese Wahrnehmung, dafs eine Empfindung, die da sein könnte, zur Zeit nicht da sei, enthält immerhin eine Aussage über den jetzigen Zustand des Organs, der von allen Empfindungen irgend welches einfallenden Lichtes unterschieden ist, und in diesem Sinne bezeichnen wir ihn auch als eine Empfindung, nämlich die von „Dunkel". Herr HERING glaubt dagegen, dafs auch die Empfindung von Schwarz ihren besonderen physiologischen Erregungsgrund haben müsse, und sucht ihn in der Assimilirung innerhalb der weifs-schwarzen Sehsubstanz.

Aus der gegebenen Darstellung wird der Leser zunächst entnehmen, dafs Herrn HERING's Theorie, wenn man über ihre physiologischen Bedenken fortsehen will, alle bisher besprochenen Thatsachen der Farbenmischung ebenso gut, aber auch nicht besser zu erklären vermag, wie TH. YOUNG's Theorie. Sie ist ja von dieser nur durch die besondere Wahl der Elementarerregungen unterschieden und diese ist, wie wir erörtert, wenn man negative Werthe derselben zuläfst, den bisher besprochenen Thatsachen gegenüber so gleichgültig, wie die Wahl der Coordinatenrichtungen bei einem Problem der analytischen Stereometrie.

Was Herr E. HERING gegen TH. YOUNG's Theorie einzuwenden hat, reducirt sich in seiner neuesten Darstellung [1] auf Folgendes: „An der Theorie von YOUNG-HELMHOLTZ wirkt von vornherein die Annahme der drei farbigen Grundempfindungen abstofsend, weil dieselben gar nicht aufzeigbar sind (?), und bekanntlich je nach Bedürfnifs (?) bald diese, bald jene Farbentöne als diesen Grundempfindungen entsprechend angenommen werden." Hierzu ist schon bemerkt, dafs man sich den Grundempfindungen der YOUNG'schen Theorie, soweit sie nicht zu den objectiven Farben gehören, in der That durch die Methode partieller Netzhautermüdung viel mehr annähern kann, als den reinen HERING'schen Gegenfarben. Dann haben allerdings verschiedene Bearbeiter der YOUNG'schen Theorie verschiedene Annahmen über die drei Grundfarben gemacht und verschiedenes Gewicht auf Thatsachen gelegt, die auf die Entscheidung hindeuteten; dafs aber nach Bedürfnifs gewechselt worden sei, ist eine ungerechtfertigte Verdächtigung. Vorhandene Zweifel einzugestehen ist jedenfalls besser als sich in dogmatischer Sicherheit wiegen.

Herr HERING fährt fort: „Wenn die den drei Urvalenzen entsprechenden Erregungen eine physiologisch so ausgezeichnete Stellung einnehmen würden, so sollte man doch meinen, dafs auch die zugehörigen Empfindungen etwas Besonderes haben müsten." Das haben sie, wie ich meine, in der hervortretenden Gluth der Farbensättigung, wofür wiederum die Theorie der Gegenfarben keinen Erklärungsgrund giebt.

Weiter: „Gelb macht z. B. viel mehr den Eindruck einer einfachen oder Grundempfindung als Violet; und doch soll letzteres eine Grundempfindung, ersteres aber ein Gemisch aus gleichzeitiger Roth- und Grünempfindung, oder wenigstens irgendwie

[1] E. HERING, *Über Newton's Gesetz der Farbenmischung.* Jahrbuch „Lotos" Bd VII (Prag. 1887) S. 79 der Separatausgabe.)

das Ergebnifs des gleichzeitigen Bestehens der diesen beiden Grundempfindungen entsprechenden Principalerregungen sein." Welch trügerisches Mittel die angebliche innere Anschauung in solchen Dingen ist, zeigt am besten das Beispiel von zwei solchen Autoritäten, wie GOETHE und Sir D. BREWSTER, die beide glaubten, im Grün das Blau und Gelb zu sehen, aus denen sie es, getäuscht durch die Erfahrungen an Malerfarben, gemischt glaubten.

Weiter: „HELMHOLTZ sagt ganz richtig: »Soviel ich sehe, giebt es bisher kein anderes Mittel, eine der Grundfarben zu bestimmen, als die Untersuchung der Farbenblinden.« Dies Mittel hat sich bekanntlich für die YOUNG'sche Theorie nicht bewährt." Das wäre, selbst wenn es richtig wäre, immerhin kein Grund gegen die Zulässigkeit der Theorie. Gerade die Theorie der Farbenblindheit scheint, wie wir noch sehen werden, ein besonders schweres Kreuz der HERING'schen Theorie werden zu sollen, während die bisher genau constatirten Thatsachen der Rothblindheit und Grünblindheit sich verhältnifsmäfsig leicht und vollständig unter die beiden Erklärungsformen der YOUNG'schen Theorie einreihen lassen.

Endlich: „Auch die drei Faserarten, welche übrigens, wie HELMHOLTZ selbst schon bemerkte, für die Theorie nicht unentbehrlich sind, wurden bisher vergebens gesucht." Dies trifft HERING's Theorie genau ebenso, wie YOUNG's.

Der Leser wird sich leicht überzeugen, dafs diese Einwendungen ohne alles Gewicht sind.

Dazu kommt nun noch eine Reihe von angeblichen Widersprüchen und Ungenauigkeiten, die er in GRASSMANN's und meiner Erklärung von NEWTON's Farbenmischungsgesetz, zum Theil auch bei Herrn v. KRIES entdeckt haben will (l. c. § 34), die, auch wenn sie begründet wären, keineswegs gegen YOUNG's Theorie sprechen würden sondern nur gegen deren Interpreten. Hier aber scheint mir die Unklarheit auf Seiten unseres Gegners zu liegen.

Diese Einwürfe gehen davon aus, dafs bei Mischungen einer gesättigten Farbe mit Weifs zuweilen auch der Farbenton der Mischfarbe geändert erscheine. Rothweifs z. B. mehr dem Rosenroth, Blauweifs dem Violet sich nähere, und dafs andererseits bei grosser Lichtintensität die Spectralfarben in der oben beschriebenen Weise theils weifslicher, theils gelblicher erscheinen.

Wenn man aber von denjenigen Elementarerregungen redet, die auf Grund von NEWTON's Gesetz einzig mit Sicherheit diesen Namen verdienen, da sie ungestört neben einander bestehen können: so ist nur diejenige Empfindung sicher als entsprechend der Coexistenz einer weifsen und einer rothen Elementarempfindung anzuerkennen, welche durch gleichzeitige Einwirkung des entsprechenden weifsen und rothen Lichts zu Stande kommt. Der Begriff der Elementarerregung ist hierbei natürlich nicht in dem engeren Sinne von YOUNG's Hypothese, sondern in dem oben erörterten weiteren Sinne genommen, wo darunter auch lineare Verbindungen von Grundempfindungen verstanden sind. Von anderen als diesen superponirbaren Elementen im Gebiete der Farbenempfindung wissen wir überhaupt nichts; und wollen wir einen festen Sinn für unsere Farbenbezeichnungen behalten, so müssen wir diese so durchführen, wie ich oben auseinandergesetzt, und wie ich es in meinen früheren Schriften schon immer gethan, wie es auch H. GRASSMANN jedenfalls gemeint hat.

Dabei können nun abweichende Schätzungen des Unterschieds zwischen einer weifslichen und mehreren gesättigten Farben vorkommen, welche nicht immer die wirklich mit Weifs gemischte Farbe als die der weifslichen Farbe ähnlichste erscheinen lassen; und wenn man ohne genügende Erfahrung über Farbenmischung

r nach der Ähnlichkeit der Empfindung schätzen soll, welche Farbe mit Weiſs nischt sei, kann man sich irren. Wir werden darüber bei den Unterschiedsempfindlichkeiten zu handeln haben. Weiter zeigt es sich, daſs die Farben von sehr er Lichtstärke kleinere Unterschiede in der Empfindung zeigen, als die mittlerer htstarke, wofür wir ebenfalls den Grund, und zwar aus YOUNG's Theorie nachisen werden. Sie erscheinen also einander und dem Weiſs ähnlicher; das drücken dadurch aus, daſs wir sie weiſslicher nennen, als die lichtschwächeren Farben selben Art. Ich habe aber schon oben erwähnt, daſs die Unterschiedsempfingen nicht mehr in die Reihe der reinen Superpositionserscheinungen gehören, wie h im nächsten Paragraphen zeigen wird.

Dessen ungeachtet sind die lichtstarken einfachen Farben immer noch so sattigt, als Farben ihrer Lichtstärke sein können, und es ist nicht nöthig, oder nn man festen Wortsinn behalten will, nicht zulässig, sie als weniger gesättigt zu zeichnen. Vielmehr ist nur zu sagen, daſs die Empfindung für Unterschiede des rbentons bei hoher Lichtstärke ebenso undeutlicher wird, wie dies für die verhiedenen Grade der Lichstärke selbst schon längst constatirt ist.

Wenn die Weiſsempfindung, und die Empfindungen der Gegenfarben in der ERING'schen Theorie wirklich den Namen von Elementen oder Bestandtheilen der npfindung verdienen sollen, was er doch offenbar meint, da er ihnen einzelne sondere „Sehsubstanzen" anweist, so muſs er sie entweder als die aus dem additiven esetz folgenden Elementarerregungen anerkennen, oder es sind ganz hypothetische organge, von deren gesonderter Existenz und Superponirbarkeit niemand etwas eiſs. Dann bedeutet seine Polemik gegen GRASSMANN und mich nur, daſs wir zu ner Zeit, wo seine Hypothese noch nicht erfunden war, nicht im Sinne seiner ypothese geredet haben.

Die Vorzüge seiner eigenen Hypothese scheint Herr HERING hauptsächlich darin t suchen, daſs sie sich dem in der Sprache fixirten System von Namen, die sich, ie ich oben erörtert, wesentlich auf das System der Korperfarben beziehen, naher schlieſst. Diesem Umstande verdankt sie in der That eine gewisse Gemeinfaſslichkeit und Popularität. Er selbst nimmt an, daſs diese Namen einer unmittelbaren ahrnehmung der einfachen Empfindungselemente durch eine Art innerer Anschauung itsprungen seien, und glaubt durch diese auch sehr sichere unmittelbare Kenntniſs einen Rothempfindung, Weiſsempfindung u. s. w. zu haben.

In seiner Veröffentlichung von 1887 hat er sogar die Möglichkeit discutirt, statt ei oder sechs einfacher Empfindungsprocesse deren noch mehr, vielleicht unendlich ele anzunehmen und eine entsprechende Menge von „Urvalenzen" für die einzelnen ectralen Lichtarten. Die geometrischen Darstellungen solcher Wirkungen zeigt drei immer in solcher Weise, daſs thatsachlich alle diese Valenzen von unabhängigen Variablen abhangen. Dagegen über diese unabhängigen Variablen, sentlich das Wichtigste für den ganzen Zusammenhang des Gebietes sind, ibt er so gut wie keinen Aufschluſs, er sucht sie nur moglichst aus der physioschen Sphare zu entfernen. Ich selbst weiſs mir diese ganze Reihe von Verungen nur etwa so zu interpretiren, daſs eine beliebige Anzahl von „Sehstanzen" im Gehirn angenommen werden konnte, deren Erregungsstarke in jeder besondere Funktion der drei Elementarerregungen ware, jede unabhangig von Erregungen der übrigen Sehsubstanzen, und jede für sich auch directer Wahrnehmung durch das Bewuſstsein zugänglich.

Ich glaube nicht, daſs es in diesem Buche nöthig ist, sich eingehender mit so hypothetischen Ansichten zu beschäftigen.

Für die Farbenblindheit namentlich beansprucht Herr HERING den Ruhm, das Verständniſs derselben eröffnet zu haben.

Alle Dichromasie sucht er auf ein einziges Schema zu reduciren: die roth-grüne Sehsubstanz soll unempfindlich geworden sein. Die Unterschiede zwischen Rothblinden und Grünblinden sucht er auf verschiedene Färbungen der Augenmedien, theils des gelben Flecks der Netzhaut, theils der Krystalllinse zurückzuführen. Die letzteren kommen höchstens bei kranken oder sehr alten Leuten vor, und sind auch da wohl bei übrigens brauchbaren Augen nie von der Stärke, daſs sie erhebliche Abweichungen in der Helligkeit verschiedener Theile des Spectrum hervorbringen könnten.

Die Färbung des gelben Flecks der Netzhaut macht sich in einem sehr beschränkten, aber allerdings wichtigen Theile des Sehfeldes geltend, und in einem schmalen Bande des Spectrum, wie oben bemerkt ist. Die wichtigsten Beobachtungen über die Abhängigkeit des Rothwerths und des Grünwerths von der Wellenlänge beziehen sich dagegen auf Farben, die der Absorption durch das gelbe Pigment nicht in merklichem Grade unterliegen. Im ganzen macht sich deshalb diese Pigmentirung auch nur bei solchen Versuchen subjectiv geltend, wo die Strahlen aus der Nähe der Linie $F$ eine hervortretende Rolle spielen, wie bei der oben S. 354 erwähnten Mischung dieses Blaus mit Roth, welche, wenn sie im Fixationspunkte weiſs erscheint, schon in geringer Entfernung von demselben das Blau überwiegend zeigt. Es erscheint schon nach den bis jetzt vorliegenden Thatsachen sehr unwahrscheinlich, daſs sich die HERING'sche Theorie der Dichromasie durchführen lasse. Indessen sind weitere Beobachtungen in dieser Richtung doch noch wünschenswerth. Der Einfluſs, den die Färbung des gelben Flecks im individuellen Auge hat, wird sich durch Vergleichung von Farbenmischungen auf und dicht neben dem Centrum des Sehfeldes abschätzen lassen, und sicher wird sich constatiren lassen, wo ein solcher Einfluſs besteht, wo nicht.

306 Die Lehre von der Farbenmischung ging von den Erfahrungen der Maler über Mischung der Pigmente aus. Schon PLINIUS erwähnt, daſs die älteren griechischen Maler mit vier Farbstoffen alles darzustellen gewuſst hätten, während man zu seiner Zeit deren viel mehr besäſse, und doch nicht so viel wie jene leistete. Und doch ist auch in dem berühmten Gemälde der Aldobrandischen Hochzeit aus der Römerzeit der Aufwand von Farbstoffen sehr klein, wie DAVY's chemische Untersuchungen zeigten.[1] LEONARDO DA VINCI nennt außer Schwarz und Weiſs, welche jedoch nicht im eigentlichen Sinne Farben wären, vier einfache Farben, nämlich Gelb, Grün, Blau und Roth; sonst fordert er noch an einer anderen Stelle für die Malerei Orange (*lionato*) und Violet (*morello, cioè paonazzo*). Daſs LEONARDO das Grün stets als einfache Farbe zählt, obgleich er weiſs, daſs es gemischt werden kann, widerspricht eigentlich seiner Definition der einfachen Farben als solcher, die nicht gemischt werden können. Sollte er bemerkt haben, daſs das ungemischte Grün viel lebhafter ist, als das gemischte? Die nachher gewöhnlich angenommenen drei Grundfarben Roth, Gelb und Blau findet man schon vor NEWTON's Untersuchungen, als eine damals allgemein anerkannte wissenschaftliche Thatsache erwähnt in einem Versuch zur Classification der Farben und Farbstoffe von WALLER. Darin, daſs man drei Grundfarben ausreichend findet, liegt schon die Anerkennung der

[1] H. DAVY, *Gilbert's Annalen*, LII, 1

atsache, dafs die Beschaffenheit des farbigen Lichtes eine Function nur dreier riablen ist; auf die Wahl der Grundfarben, welche erst viel später WÜNSCH und OMAS YOUNG zu ändern suchten, hatten die Erfahrungen über gemischte Pigmente den schiedensten Einflufs. Man meint aus Gelb und Blau Grün zusammensetzen zu nnen. Das ist richtig, wenn man es auf die Pigmente bezieht, aber nicht für fares Licht.

NEWTON setzte zuerst farbiges Licht zusammen, und zwar das des prismatischen ectrum, benutzte aber daneben für Aufstellung der Regel der Farbenmischung die schung farbiger Pulver, und legte auf die Abweichungen zwischen beiden, die ihm ht ganz entgangen zu sein scheinen, kein grofses Gewicht, da ihm die experimentellen lfsmittel noch fehlten, die Sache genauer zu verfolgen. Er erwähnt, dafs aus *subflavum* d *cyaneum* (d. h. grünlich Gelb und Cyanblau) nur ein weifsliches Grün zu erzeugen 307
. NEWTON stellte auch zuerst einen genaueren Ausdruck des Gesetzes der Farbenschung hin, indem er es auf die oben besprochene graphische Darstellung und Schwernktsconstructionen zurückführte. Sein Gesetz entsprach den vorliegenden experimenlen Erfahrungen, eine genauere Prüfung hat er nicht versucht. Seine Darstellung des stems der Farben auf einem Kreise war eine Erweiterung des Systems dreier objectiver undfarben; über das Ungenügende des letzteren Systems spricht er sich aber nirnds aus.

Dagegen kehrten die späteren Physiker bei ihren Versuchen, das System der Farben ordnen, meist zum System der drei Grundfarben zurück, so LE BLOND 1735, DU FAY 37, TOBIAS MAYER 1758, J. H. LAMBERT 1772, D. R. HAY, J. D. FORBES. Ihre Farbensteme sind praktisch ausgeführt meist in der Weise, dafs sie bestimmte Pigmente nach stimmten Gewichtsverhältnissen mischten. MAYER brauchte Zinnober, Königsgelb hromsaures Bleioxyd) und Bergblau (Kobaltglas), LAMBERT Carmin, Gummigutt, Berliner lau (Eisencyanürcyanid). Letzterer bestimmte auch die Sättigungsverhältnisse dieser arbstoffe, indem er die Gewichtsmengen bestimmte, in denen je zwei gemischt werden üssen, um eine Mischfarbe hervorzubringen, welche gleich weit von den Farben ihrer eiden Bestandtheile entfernt sei. Er mufste nehmen von Carmin 1 Theil, von Berlinerlau 3 Theile, von Gummigutt 10 Theile. Letztere Gewichte wählte er dann als Maafsinheiten bei Anfertigung der Mischungen. Übrigens fallen die Mischungen so weit von nander entfernter Farbstoffe immer ziemlich unansehnlich und grau aus.

Neuere Beobachtungen, welche unter Umständen, wo Mischung farbigen Lichts zu rwarten war, von den bisherigen Regeln abweichende Resultate lieferten, machten 1829 ATEAU am Farbenkreisel, VOLKMANN 1838 an Zerstreuungsbildern, ohne aber dadurch einer näheren Untersuchung des Widerspruchs geführt zu werden. Ich selbst wurde rch Versuche über Mischung der Spectralfarben zu der Erkenntnifs geführt, dafs ischung des Lichts und Mischung von Pigmenten verschiedene Resultate gebe, und örterte die Gründe davon. Ich hatte hierbei die Mischung der Spectralfarben mittels rförmigen Spaltes benutzt und nur aus Gelb und Indigoblau Weifs erhalten, nicht s irgend welchen anderen Paaren von Spectralfarben. Dies widersprach dem Mischungssetz von NEWTON und veranlafste GRASSMANN zu einer ausführlichen Erörterung der incipien von NEWTON's Mischungsgesetz. Die Untersuchung der gemischten Spectralrben nach einer besseren Methode, welche ich ausführte, hob die scheinbaren Widerriche gegen NEWTON's Regel auf, so weit sie sich auf die Anwendbarkeit der Schwerrktsconstructionen beziehen; dagegen mufste ich freilich die Kreisform des Farbendes GRASSMANN gegenüber für unerwiesen erklären. Endlich sind die Principien von WTON's Mischungsgesetz experimentell geprüft worden 1857 durch MAXWELL.

TH. YOUNG's Theorie der Farbenempfindungen ist wie so vieles, was dieser bewunungswürdige Forscher seiner Zeit voraneilend geleistet hatte, unbeachtet liegen geeben, bis ich selbst und MAXWELL wieder auf sie aufmerksam machten. Man begnügte

sich mit der Annahme, dafs der Sehnerv verschiedenartiger Empfindungen fähig sei, ohne weiter nach dem Grunde zu suchen, warum das System dieser Empfindungen eben ein solches sei, wie es das Auge darbietet.

n Bald nach der Veröffentlichung der ersten Auflage dieses Buches erschien die Farbentheorie von E. HERING.[1]

## 309 § 21. Von der Intensität der Lichtempfindung.

Die Intensität des objectiven Lichts ist gleich zu setzen der lebendigen Kraft der Ätherbewegung, und diese bei einfarbigem, geradlinig polarisirten Lichte proportional dem Quadrate der gröfsten Geschwindigkeit der Äthertheilchen. Wenn Licht aus verschiedener Quelle oder von verschiedener Polarisationsrichtung zusammentrifft, wird die Gesammt-Intensität gleich der Summe der einzelnen Intensitäten.

Wir wollen zunächst untersuchen, wie die Intensität der Lichtempfindung sich verhält, wenn die Intensität des objectiven Lichts sich verändert, ohne dafs die Farbe geändert wird. Wir können diese Verhältnisse an weifsem Lichte studiren; einfaches Licht verhält sich nicht wesentlich anders.

Zunächst ist nachzuweisen, dafs die kleinsten wahrnehmbaren Abstufungen der Lichtempfindung nicht gleichen Differenzen der objectiven Helligkeit (S. 209) entsprechen. Man beleuchte eine weifse Tafel mit einem schwachen Lichte, welches die Helligkeit $h$ erzeuge, und stelle einen Körper auf, der auf die Tafel einen Schatten wirft, so dafs innerhalb der Grenzen des Schattens die Tafel von jenem ersten Lichte nicht getroffen wird. Dann bringe man ein zweites Licht hinzu von der Helligeit $H$, welche dadurch verändert werden kann, dafs man dies zweite Licht der Tafel nähert und entfernt. Dann ist die objective Helligkeit im Schatten $H$, aufserhalb des Schattens $H + h$.

Ist nun die Helligkeit $H$ sehr gering, so wird das Auge den Schatten erkennen, d. h. die Helligkeit $H$ von der $H + h$ unterscheiden. Aber der Versuch lehrt, dafs wie grofs auch $h$ sein mag, doch stets eine gröfsere Helligkeit $H$ existirt, bei welcher der Schatten unsichtbar wird, bei welcher die Differenz $h$ der objectiven Helligkeit also nicht mehr eine wahrnehmbare Steigerung der Empfindung hervorbringt.

Ein Licht von der Stärke des Mondlichts wirft einen wahrnehmbaren Schatten auf weifses Papier. Bringt man eine gut brennende Lampe nahe
310 an das Blatt, so verschwindet der Schatten. Wiederum verschwindet der Schatten, den das Lampenlicht wirft, wenn man die Sonne auf das Papier scheinen läfst. Ja, die Helligkeit einer Flammenfläche einer gut brennenden Lampe mit ringförmigem Dochte ist für das Auge kaum noch von der doppelten Helligkeit zu unterscheiden. Es sind solche Flammen hinreichend

[1] E. HERING. *Sitzungsber. der Wiener Akad.* vom 15. Mai 1874.
*Zur Erklärung der Farbenblindheit. Lotos, Neue Folge* I. 1880. Prag.
*Kritik einer Abhdlg. von Donders. Lotos. Neue Folge* II. 1882. Prag.
*Individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes. Lotos. Neue Folge* VI. Prag. 1885.
*Newton's Gesetz der Farbenmischung. Lotos. Neue Folge* Bd. VII. Prag. 1887.
*Pflüger's Archiv* Bd. XLI S. 29. 1887. Bd. XLII S. 488. 1888.

nter die erste schiebt. Man erkennt dann die zweite in ihren Umrissen anz genau. Sieht man aber mit bloſsem Auge nach den beiden Flammen in, so erkennt man die zweite wenigstens durch den hellsten Theil der sten nicht mehr, oder höchstens nachdem man durch längeres Hinsehen e Intensität der Empfindung abgestumpft hat. Ebenso wenig erkennt man leicht mit bloſsem Auge, daſs der Rand der Flammenfläche, wo man er Länge nach durch die glühende Gasschicht hindurchsicht, ein sehr viel itensiveres Licht, als die Mitte hat, wo man die kleinste Tiefe der glühenen Schicht vor sich hat. Auch dies wird ebenfalls leicht sichtbar, wenn man ie Flamme in einem unbelegten Glase gespiegelt betrachtet. Dahin gehört rner auch die Thatsache, daſs die Sterne bei Tage verschwinden, daſs ilder hinter einer Glasplatte verschwinden, wenn die Glasplatte spiegelt s. w.

Während wir bisher die Differenz der Helligkeit constant erhielten, und ur den absoluten Werth der ganzen Helligkeit veränderten, können wir uch die Differenz in demselben Verhältniſs wachsen lassen, wie die Helligeit wächst. Man bringe auf einer durchsichtigen Glastafel eine Zeichnung it sehr verdünnter schwarzer Tuschfarbe an, oder lasse sie mit einem chwachen Hauch von Lampenruſs anlaufen, und zeichne darin; oder esser, man suche ein photographisches auf durchsichtigem Glase ausgeführtes Bild, was theils sehr zarte, theils stärkere Schatten hat, und halte eine olche Zeichnung vor einen hellen Grund von immer steigender Helligkeit. Man wird finden, daſs bei geringer Helligkeit des Grundes sehr zarte Schatten unsichtbar sind, bei gröſserer sichtbar werden, dann bei immer steigender Helligkeit eine ziemliche Zeit hindurch ungefähr denselben Grad on Deutlichkeit erhalten, endlich aber wieder anfangen zu verschwinden. Je starker der Schatten in der Zeichnung ist, desto kleiner ist die Helligkeit, wo er anfangt sichtbar zu werden, und desto gröſser ist die Helligkeit, welche angewendet werden muſs, damit er wieder verschwinde. Nun ist die objective Helligkeit des Schattens um einen ganz bestimmten Theil der ganzen Helligkeit kleiner, als die Helligkeit der lichten Stellen. Nennen wir letztere $H$, so können wir die Helligkeit des Schattens gleich $(1 - \alpha) H$ setzen, wo $\alpha$ einen für dieselbe Stelle der Zeichnung constanten ächten Bruch bezeichnet, so daſs also die Differenz der Helligkeit zwischen der betreffenden Stelle der Zeichnung und dem hellen Grunde, welche $\alpha H$ ist, mit der Helligkeit $H$ gleichzeitig gröſser und kleiner wird. Trotzdem also bei steigender Helligkeit die Unterschiede der absoluten Helligkeit zwischen den verschieden beschatteten Theilen der Zeichnung gröſser werden, entsprechen diesen verschieden nicht mehr wahrnehmbare Unterschiede der Empfindung. Es geht also hervor, daſs es gewisse mittlere Grade der Lichtstärke geben muſs, innerhalb welcher das Auge am empfindlichsten ist für eine Änderung der Helligkeit um kleine Bruchtheile ihrer Gröſse. Es sind es die von uns gewöhnlich beim Lesen, Schreiben, Arbeiten gebrauchten, unserem Auge angenehmsten und bequemsten Grade der Helligkeit. Aber

[illegible] von derjenigen Beleuchtung ab, bei welcher [illegible] kann, bis etwa zu der Helligkeit einer von [illegible] getroffenen weifsen Fläche ist die Gröfse der [illegible] constant, wie sich denn überhaupt der Werth conti-[illegible] in der Nähe ihres Maximum verhältnifsmäfsig [illegible]. Es geht dies schon für die gewöhnliche Beobach-[illegible] hervor, dafs man Gemälde und Zeichnungen, welche [illegible] des Schattens darbieten, ziemlich gleich gut bei [illegible] starkem Tageslicht erkennt, dafs nur ausnahmsweise bei [illegible] neue Gegenstände und Schattenstufen darauf sichtbar [illegible] nicht schon bei schwacher Beleuchtung gesehen hätte. [illegible] FECHNER, dafs wenn man durch verdunkelnde graue [illegible] Gegenständen, z. B. dem Himmel mit hellen Wolken hinsieht, [illegible] Abstufungen des Schattens verschwinden, die man vorher ge-[illegible] oder neu sichtbar werden. In den meisten Fällen ist dies [illegible] zarte Schatten jedoch nicht.

[illegible] ergeben genauer die photometrischen Messungen. Es hat [illegible] Messungen im Allgemeinen gezeigt, dafs bei sehr ver-[illegible] Graden der Helligkeit die Differenz der Helligkeit, welche [illegible] werden konnte, nahe denselben Bruchtheil der ganzen [illegible] bildete. Die Gröfse dieses Bruchtheils ist von BOUGUER und [illegible] der Weise aufgesucht worden, dafs dieselben eine weifse Tafel [illegible] gleichen Kerzenflammen beleuchteten, und einen Stab davor auf-[illegible] nun zwei Schatten auf die Tafel warf. Das eine Licht [illegible] so weit entfernt, bis der entsprechende Schatten aufhörte [illegible] sein Ist $a$ die Entfernung des näheren Lichts von der [illegible] die Entfernung des entfernteren, so verhält sich die Beleuch-[illegible] der Tafel durch beide Lichter wie $a^2:b^2$. BOUGUER fand, [illegible] eine Licht etwa 8mal, FECHNER mit Hülfe von VOLKMANN und [illegible] Beobachtern, dafs es ungefähr 10mal so weit, als das andere ent-[illegible] müsse, damit der Schatten verschwinde, so dafs BOUGUER also $\frac{1}{64}$ [illegible] FECHNER's Freunde dagegen $\frac{1}{100}$ noch unterscheiden konnten. [illegible] bemerkte, dafs bei Bewegung des Objects noch feinere Unterschiede [illegible] werden konnten, und kam unter günstigsten Bedingungen bis auf $\frac{1}{131}$. [illegible] zur Prüfung rotirende weifse Scheiben mit kleinen schwarzen [illegible] fand, dafs bei schwachem Gesicht zuweilen nur Unterschiede [illegible] wurden, bei guten Augen zuweilen aber noch weniger als [illegible] erfordern die Messungen mit den rotirenden Scheiben grofse [illegible] später mehr. Er fand aufserdem, dafs die Grenze der

mpfindlichkeit auch für instantane Beleuchtung durch den elektrischen unken von der Lichtstärke ziemlich unabhängig ist. Bei dieser Beleuchtung werden nämlich, wenn sie stark genug ist, die schwarzen und weifsen ectoren für einen Augenblick sichtbar. Läfst man nun die rotirende Scheibe 312 uernd von einer Lampe mit der Helligkeit $L$ beleuchten und dann auch von nem elektrischen Funken mit der Helligkeit $l$, so hat man für einen Augenlick am Orte der weifsen Sectoren die Helligkeit $L + l$, am Orte der schwarzen ur die Helligkeit $L$, und man wird die Sectoren nur erkennen, wenn $L + l$ on $L$ unterschieden werden kann. Veränderte man die Entfernung beider Lichtquellen von der Scheibe, so mufsten $L$ und $l$ proportional verändert werden, m an der Grenze der Empfindlichkeit des Auges zu bleiben, woraus denn olgt, dafs dasselbe Gesetz wie für constantes Licht, auch für die Wahrnehmbarkeit instantaner Lichtunterschiede gilt.

Fechner hat die Thatsache, dafs innerhalb eines grofsen Intervalls der Helligkeit die kleinsten wahrnehmbaren Differenzen der Lichtempfindung (nahehin) constanten Bruchtheilen der Helligkeit entsprechen, zur Aufstellung eines allgemeineren Gesetzes benutzt, welches er als ein psychophysisches bezeichnet, und welches auch in anderen Gebieten der Sinnesempfindungen sich bewährt. So erscheinen uns namentlich Differenzen der Tonhöhe als musikalisch gleich grofs, wenn die Differenzen der Schwingungsdauer gleiche Theile der ganzen Schwingungsdauer betragen. Ähnlich verhält es sich ferner nach E. H. Weber's Untersuchungen mit unserer Fähigkeit, die Differenzen von Gewichten und Lineargröfsen zu erkennen. Wie wir nun die Tonhöhe messen durch den Logarithmus der Schwingungszahl, so erscheint es passend die Empfindungsstärke ähnlich zu messen, indem wir in diesem wie in jenem Falle gleich deutlich wahrnehmbare Unterschiede $dH$ der Empfindungsstärke $E$ als gleich grofs ansehen. Dann wäre also innerhalb weiter Grenzen der objectiven Helligkeit $H$ nahehin

$$dE = A \cdot \frac{dH}{H}$$

wo $A$ eine Constante ist. Daraus folgt durch Integration

$$E = A \cdot \log H + C,$$

wo $C$ eine zweite Constante bezeichnet. Wenn wir für die Helligkeit $h$ die Empfindungsstärke gleich $e$ setzen, wird die letztere Gleichung:

$$E = e + A \cdot \log \frac{H}{h}.$$

Fechner hat gezeigt, dafs diese Art, wie das Auge Helligkeiten mifst, auch bei der Aufstellung der Sterngröfsen einen bestimmenden Einflufs geübt at. Die Grofsenklassen der Sterne hat man bestimmt nach dem Eindruck, en sie auf das menschliche Auge machen, zunächst ohne photometrische lessungen der objectiven Lichtmenge. Erst in neuerer Zeit sind letztere inzugekommen, und erlauben nun die objective Lichtmenge mit der ange-

nommenen Gröfsenklasse zu vergleichen. Fechner hat eine solche Vergleichung nach den photometrischen Bestimmungen von J. Herschel und Steinheil ausgeführt, und findet die Gröfsenklasse $G$ ausgedrückt, für Herschel's Messungen durch die Formel

$$G = 1 - 2{,}8540 \log H$$

313 für Steinheil's Messungen durch

$$G = 2{,}3114 - 2{,}3168 \log H,$$

welche Formeln mit den oben aufgestellten in Übereinstimmung sind, wenn man bemerkt, dafs die Gröfsenklassen steigen, wenn die Lichtmengen fallen, und ebenso findet sich sehr genügende Übereinstimmung zwischen den Formeln und den Beobachtungen. Auch für die Messungen von Struve hat Fechner eine hinreichende Übereinstimmung mit seinem Gesetze nachgewiesen. Dasselbe Gesetz ist übrigens auch von Babinet[1] ausgesprochen, welcher die Zahl, die dem Coefficienten von $\log H$ in Fechner's Formel entspricht, zu 2,5 angiebt, nach Beobachtungen von Johnson und Pogson.

Dafs das hier aufgestellte Gesetz für die Empfindungsstärke nicht bei sehr kleinen und nicht bei sehr grofsen Helligkeiten gilt, erklärt Fechner durch den Einflufs von störenden Nebenumständen. Bei sehr geringen Helligkeiten mufs sich nämlich der Einflufs des subjectiven Eigenlichts des Auges merklich machen. Neben der Reizung durch äufseres Licht ist immer noch eine Reizung durch innere Einflüsse vorhanden, deren Gröfse wir gleich setzen können der Reizung durch ein Licht von der Helligkeit $H_0$. Dann wird also genauer der Ausdruck für die kleinsten wahrnehmbaren Stufen der Empfindungsstärke

$$dE = A \frac{dH}{H + H_0}$$

oder

$$dH = \frac{1}{A} (H + H_0)\, dE,$$

woraus folgt, dafs die Steigerung der Helligkeit etwas gröfser sein mufs, um wahrgenommen zu werden, als wenn $H_0$ gleich Null wäre, und namentlich wird der Unterschied für kleine Werthe von $H$ bedeutend werden.

n Die Übereinstimmung mit den Beobachtungen wird allerdings durch diese Annahme von Fechner erheblich verbessert, und läfst sich bis zu viel geringeren Helligkeiten verfolgen, aber vollständig wird sie nicht weder für die höchsten noch für die niedrigsten Helligkeiten. In der That giebt auch die innere Erregung der Netzhaut keine gleichmäfsige Lichtempfindung, sondern das sogenannte Eigenlicht der Netzhaut erscheint in ganz dunklem Grunde immer als ein fleckiger, ungleichmäfsiger Lichtschimmer, der theils breitere, theils aber auch ganz feinkörnige hellere und dunklere Flecken und

[1] Babinet. *Comptes rendus.* Tome 44. p. 355. 1857.

Zeichnungen zeigt. Ja, was man für gewöhnlich überhaupt von dem Eigenlicht wahrnimmt, sind eigentlich nur diese Differenzen seiner Helligkeit, während die gleichmäfsige Empfindung des Grundes, die vielleicht garnicht so schwach ist, nicht wahrgenommen wird, so lange sie nicht anderweitig verändert wird. In dieser Beziehung sind die Erfahrungen über die Verdunkelung des dunkelten Gesichtsfeldes durch den absteigenden elektrischen Strom (S. 245) von Wichtigkeit. Ich werde weiter unten den Einflufs einer solchen ungleichmäfsigen Beleuchtung discutiren. Die Versuche von FECHNER und VOLKMANN, mit Hülfe der besprochenen Form des FECHNER'schen Gesetzes die Intensität des Eigenlichtes zu finden, halte ich für verfrüht. Auch haben sie offenbar viel zu kleine Werthe ergeben.

Die Fleckigkeit des Eigenlichts macht sich auch sehr geltend, wenn man versucht, kleine, durch schwache Beleuchtungsunterschiede hervorgehobene Objecte zu erkennen. Man wird dieselben in vielen Fällen nicht von Flecken des Eigenlichts zu unterscheiden wissen. Hat dagegen das Object bei derselben äufseren Beleuchtung eine gröfsere Ausdehnung im Gesichtsfelde, so wird man auf einer solchen gröfseren Fläche trotz der Flecken leichter erkennen können, dafs ihre mittlere Helligkeit einen kleinen Überschufs über die mittlere Helligkeit des benachbarten Grundes hat, und dafs die scheinbare Lage des helleren Flecks im Raume bei Bewegungen des Auges unverändert bleibt. Gröfsere Objecte erkennt man also bei kleinen Beleuchtungsunterschieden leichter als kleinere. So kann man z. B. bei schwacher Beleuchtung oft genug nicht mehr lesen, trotzdem man den Umrifs der weifsen Seite des Buchs, und vielleicht auch die einzelnen Zeilen ganz wohl erkennt. Ich finde es dann meist möglich, wenigstens die gröberen Züge des Lichtstaubs, die ich beim Schliefsen der Augen im dunklen Felde vor mir habe, auch auf dem Papiere zu erkennen.

Übrigens ist zu bemerken, dafs die Hypothese von dem netzförmigen Zusammenhange der Nervenenden in der Netzhaut, die ich auf S. 264 erörtert habe, ebenfalls die Wahrnehmung kleiner örtlicher Unterschiede von der Wahrnehmung der Intensitätsdifferenz der Erregungen benachbarter Nervenfasern abhängig macht, und zu dem Schlusse führt, dafs bei abnehmender Empfindlichkeit für Bruchtheile der Lichtintensität auch die Feinheit der Unterscheidung der Örter im Gesichtsfelde beeinträchtigt werden mufs.

Wegen der Existenz des Eigenlichts mufs nun immer eine bestimmte objective Beleuchtungsstärke eintreten, um selbst im Gegensatze gegen einen gänzlich unbeleuchteten Grund überhaupt wahrgenommen zu werden. Noch kleinere Grade der Helligkeit üben keine wahrnehmbare Wirkung auf die Netzhaut aus. Diese kleinste unterscheidbare Beleuchtung hat FECHNER die Reizschwelle genannt. Wahrnehmbar sind nur Helligkeiten, welche über die Reizschwelle hinausgehen.

Die kleine Zunahme der Helligkeit $dH$ dagegen, welche nöthig ist, um

bei der Helligkeit $H$ die erste wahrnehmbare Zunahme dieser Helligkeit zu bewirken, nennt er die Unterschiedschwelle.

314 Die Abweichung von dem Gesetze an der oberen Grenze könnte man mit FECHNER wohl darauf schieben, dafs das Organ zu leiden beginnt. Die inneren Veränderungen im Nerven, welche den Eindruck des Reizes auf das Gehirn übertragen, können eben eine bestimmte Gröfse nicht überschreiten, ohne das Organ zu schädigen, und jeder Wirkung des Reizes ist daher eine obere Grenze gesetzt, welcher ein Maximum der Empfindungsstärke entsprechen mufs.

Übrigens ist denn doch zu bemerken, dafs diese Umstände, welche es auch sein mögen, die an der oberen und unteren Grenze der Helligkeit die Gültigkeit von FECHNER's Gesetz stören, auch in den mittleren Graden der Helligkeit ihren Einflufs bei genauer Beobachtung geltend machen, was natürlich nicht verhindert, dafs jenes Gesetz als eine erste Annäherung an die Wahrheit stehen bleibt. Allerdings sind die meisten Gemälde, Zeichnungen und Photographien von den gewöhnlich vorkommenden Gegenständen der Darstellung gleich gut bei sehr verschiedenen Graden der Lichtstärke zu erkennen. Aber, wie oben bemerkt, findet man in Photographien Schattenabstufungen, die nur bei einer bestimmten und eng begrenzten Lichtstärke ganz deutlich hervortreten. Dazu gehören namentlich Landschaftsbilder, in denen sehr ferne im Nebel halb verschwimmende Bergketten dargestellt sind, am auffallendsten aber war es mir bei einigen stereoskopischen Photographien von Alpenlandschaften auf Glas, in denen sich Theile der Firnmeere oder ganz mit Schnee bedeckte Bergspitzen zeigen. Solche Schneeflächen sehen bei Lampenlicht oder mäfsig starkem Tageslicht wie einförmige weifse Flächen aus, während sie gegen den hellen Himmel gekehrt noch zarte Schatten zeigen, die eine Modellirung der weifsen Flächen andeuten, und die bei noch stärkerem Lichte wieder verschwinden. In Photographien kann man so zarte Schatten natürlich nur durch Zufall finden, in Gemälden oder Zeichnungen kann man sie nicht erwarten, dagegen geben die rotirenden Scheiben ein leichtes Mittel ab, sehr zarte Schatten zu erzeugen, deren Lichtstärke in jedem gewünschten Verhältnifs zur Helligkeit des weifsen Grundes steht, wie sie denn auch MASSON schon zu photometrischen Versuchen gebraucht hat. Leicht zu erhalten sind solche Schatten, wenn man der Scheibe die Zeichnung wie in *Fig. 153* giebt. Man zieht längs eines oder zweier Radien mit einer Ziehfeder einen unterbrochenen Strich, dessen Theile alle die gleiche Dicke haben. Bei der Rotation der Scheibe geben diese schwarzen Striche graue

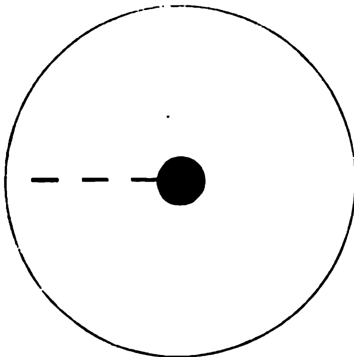


*Fig. 153.*

Kreise auf der Scheibe. Ist $d$ die Breite der Striche, $r$ dieEntfernung eines Punktes eines schwarzen Strichs vom Mittelpunkte der Scheibe, so ist die Helligkeit $h$ des grauen Streifens, der bei der Rotation entsteht, wenn wir lie Helligkeit der Scheibe gleich 1 setzen

$$h = 1 - \frac{d}{2 r \pi}.$$

Die grauen Streifen unterscheiden sich also desto weniger von der Helligkeit er Scheibe, je gröfser $r$ ist; die inneren sind dunkler, die äufseren heller nd man erhält eine Folge sehr zarter Abstufungen. Beim Versuche hat an nur zu untersuchen, wie weit die Ränder der grauen Streifen noch zu rkennen sind. Man erkennt sie besser, wenn man mit dem Blicke zu den erschiedenen Stellen eines Kreises hin- und hergeht, als wenn man eine telle fixirt; im letzteren Falle verschwinden die schwächeren Kreise schnell ieder, auch wenn man sie vorher gesehen hat. Doch erkennt man sie gewöhnlich auch nicht gleich beim ersten Hinsehen nach der Scheibe, sondern an mufs letztere erst eine Zeitlang aufmerksam betrachten. Übrigens mufs, an darauf achten, dafs die Scheibe schnell genug umläuft, damit die grauen reise ganz continuirlich erscheinen, und nicht flimmern; auch sind schnelle n
ewegungen des Blicks zu vermeiden, welche die Striche sichtbar machen. uf der flimmernden Scheibe erkennt man auch die schwächeren Kreise, weil ie Verdunkelung sich dann nicht mehr gleichmäfsig auf die ganze Zwischeneit von zwei Vorübergängen des schwarzen Streifens vertheilt, sondern unttelbar nach dem Vorübergange gröfser, nachher schwächer ist, als sie bei leichmafsiger Vertheilung sein sollte. Es scheint mir deshalb nothwendig, iese Messungen von Unterschiedsschwellen nur an Scheiben auszuführen, die el schneller umlaufen, als zur Beseitigung des Flimmerns nöthig ist. Ich abe deshalb auch nicht mehr volles Vertrauen in meine eigenen früheren lessungen, die ich in der ersten Auflage dieses Werkes mitgetheilt habe, da h mit dem gebrauchten Apparate die vollkommene Gleichmäfsigkeit der änge nur noch eben erreichen konnte. Ich fand damals, dafs ich an 315
ellen Sommertagen am Fenster bei Bewegung des Blicks noch einen Rand charf sehen konnte, wo der Unterschied der Helligkeit $\frac{1}{133}$ war, und veraschen erschien mir auch noch ein Rand von $\frac{1}{150}$, auf Augenblicke so- a einer von $\frac{1}{167}$ Unterschied. Mühsamer und anstrengender erschienen e Wahrnehmungen bis zu $\frac{1}{150}$ bei directer Sonnenbeleuchtung der cheibe. In der Mitte des Zimmers konnte ich zu derselben Zeit nur änder von $\frac{1}{117}$ Unterschied wahrnehmen, den von $\frac{1}{133}$ nur selten und unestimmt.

Dasselbe Verhältnifs ist später durch andre Beobachter bestätigt worden. Sehr deutlich zeigt es sich in den Versuchen von Herrn EBBINGHAUS.[1] Derselbe hatte sich eine Reihe von grauen Papieren hergestellt, welche 53 verschiedene, möglichst gleich breit gemachte Helligkeitsstufen zwischen Schwarz und Weiss darstellten. Die objectiven Helligkeiten wurden mit Hülfe des Farbenkreisels zahlenmäfsig bestimmt, und dann suchte der Beobachter Paare von Papierscheibchen dieser Art aus verschiedenen Gegenden der Scala, welche ihm gleich grofse Unterschiede zu haben schienen. Auch hierbei fand sich, dafs die objectiven Helligkeitsunterschiede an den Enden der Scala gröfser ausfielen, als in der Mitte. Zum Beispiel bei einem Versuch, die ganze Scala in sieben subjectiv gleiche Helligkeitsstufen zu theilen, ergaben sich die Quotienten von je zwei auf einander folgenden Helligkeiten von unten nach oben in folgender Reihe

2,25; 2,11; 2,05; 1,77; 1,72; 1,68; 1,98.

Wir werden dieselbe Thatsache bestätigt finden bei den später zu erwähnenden Versuchen der Herren A. KÖNIG und E. BRODHUN über die Unterschiedsempfindlichkeiten für das Licht der Spectralfarben.

Für die objective Wahrnehmung der uns umgebenden Gegenstände ist das WEBER'sche Gesetz von grofser Wichtigkeit, namentlich für die richtige Auffassung der Modellirung ihrer Oberfläche. Wenn diese Fläche Wölbungen, schwache Vorsprünge oder Vertiefungen hat, so verrathen sich diese in der Regel durch entsprechende Abänderungen der Helligkeit. Die dem Licht zugekehrten Theile der Oberfläche sind heller beleuchtet, als die mehr oder weniger seitwärts gewendeten, geschweige denn die abgekehrten. Wenn die beleuchtende Fläche sehr ausgedehnt ist, wie der Tageshimmel, sind diese Unterschiede von Schatten und Licht oft sehr zart, und doch geben sie einen sehr deutlichen Eindruck der Form der Fläche, wie man besonders an guten Gemälden und Photographien erkennen kann, wo nur dieses Hülfsmittel zur Bezeichnung der Raumform der dargestellten Gegenstände übrig geblieben ist. Ebenso sind die Schlagschatten von grofser Wichtigkeit, da sie ein untrügliches Zeichen dafür geben, dafs der Schatten werfende Körper von der Richtung der Lichtquelle aus gesehn, sich vor der den Schatten empfangenden Fläche befindet. Auch die Schlagschatten können auf sehr zarte Andeutungen zurückgeführt sein, wenn die Lichtquelle sehr ausgedehnt ist.

Nun wird bei allen diesen Beschattungen die Lichtintensität der hellsten Theile in den beschatteten um einen gewissen Bruchtheil vermindert, welcher bei unveränderter Lage und Form der Lichtquelle unabhängig ist von der Intensität der Lichtquelle. Daraus folgt also, dafs innerhalb des sehr breiten Gebietes der Lichtstärken, für welche in hinreichender Annäherung das psychophysische Gesetz gilt, die Deutlichkeit der Wahrnehmung dieser Schatten und daher auch die Deutlichkeit der Modellirung der Ober-

[1] H. EBBINGHAUS, *Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin.* Sitzung vom 1. Dec. 1887. S. 995.

chen fast unabhängig ist von der absoluten Lichtstärke. Wesentlich darauf ruht es, dafs ein geschickter Maler auf den verhältnifsmäfsig schwach beuchteten Flächen eines in einem Zimmer hängenden Gemäldes sowohl den ndruck der von grellem Sonnenlicht wie von schwachem Mondlicht behienenen Gegenstände gut nachahmt, obgleich er weder so hohe Lichtrken anwenden kann, wie die Wirklichkeit bei ersterem, noch so tiefe unkelheit, wie sie sie bei letzterem zeigt.

Nähert sich die Lichtstärke aber ihrer oberen oder unteren Grenze, die Unterschiedsschwellen, die gleich deutlicher Empfindung entsprechen, uchsen, so wird die Unterscheidung der zarten Schatten, und damit auch e der Modellirung der Oberflächen undeutlicher. Diejenige mittlere elligkeit also, welche die gröfste Feinheit in der Wahrnehmung kleinster elligkeitsunterschiede gewährt, ist auch diejenige, bei der wir die feinste ahrnehmung der Modellirung der uns gegenüberstehenden Körperoberchen haben. [1]

Noch in anderer Beziehung kommt es auf die Helligkeit für die Deuthkeit des Sehens an, nämlich bei der Unterscheidung sehr kleiner Objecte. en ist schon erwähnt, dafs die Unterscheidung kleiner Gegenstände, B. der Buchstaben eines Buches mühsamer wird bei sehr grofsen, wie i sehr kleinen Helligkeiten, während sie in breiten Stufen mittlerer elligkeit gleich leicht merklich ist. Der Unterschied bleibt bestehen, ch wenn man durch eine Öffnung sieht, die enger ist als die Pupille, und n dadurch die breiteren Zerstreuungskreise, die bei weiter Pupille in hwacher Beleuchtung, wie die Diffractionserscheinungen und entoptischen lder, die bei enger Pupille in starkem Licht entstehen könnten, unverändert hält. Sehr feine dunkle Objecte auf hellem Grunde erscheinen überupt nur als feine schattige Flecke, selbst wenn sie sich auf einem einlnen Zapfen des Netzhautcentrum abbilden. Sobald ihr optisches Bild einer ist, als der Querschnitt des Zapfens, wird durch das dunkle Bild nur Bruchtheil des Lichtes für diesen Zapfen weggenommen, und es kommt o darauf an diese Verminderung um einen Bruchtheil wahrzunehmen. nz ähnlich verhält es sich übrigens auch unter der Annahme des mmunicirenden Geflechts von Nervenverästelungen (s. S. 264).

Dadurch erlangen die Abstufungen der Helligkeit und ihre Wahrnehmkeit eine grofse praktische Wichtigkeit auch für die Wahrnehmung der rmen und örtlichen Unterschiede im Gesichtsfelde, und wir sind deshalb fach gezwungen auf die Helligkeit der Beleuchtung zu achten, und ssen auch immer unmittelbar, ob sie zu grofs oder zu klein für das hen feiner Objecte sei, und durch welche Art der Änderung wir sie beemer machen könnten. Dadurch ist also auch ein bestimmter Grad der

[1] Vergleiche H. Helmholtz, [illegible] Braunschweig [illegible] Heft III, [illegible] später wieder abgedruckt in des Vaters [illegible] Bd. I. Braunschweig 1884.

Helligkeit, die des deutlichsten Erkennens der Körperformen, als ausgezeichnet vor allen andern charakterisirt. Er ist allerdings nicht sehr scharf abzugrenzen, weil innerhalb breiter Abstufungen der Helligkeit das Verhältnifs $dH:H$ nur sehr kleine Unterschiede zeigt; auch ist die subjective Stärke der Empfindung zeitweilig durch die Wirkung vorausgegangenen Lichts grofsen Veränderungen unterworfen. Indessen wird sich bei dauerndem Verweilen in gleichmässig heller Umgebung doch immer wieder der gleiche Zustand des Auges für jeden Grad der Beleuchtung, und somit auch dieselbe Empfindungsstärke herstellen müssen.

Es scheint mir wünschenswerth, diese Verhältnisse durch kurze Namen zu bezeichnen. Je kleiner für eben noch wahrnehmbare Empfindungsunterschiede das Verhältnifs $dH:H$ ist, desto deutlicher erkennen wir die Objecte. Ich werde mir erlauben das umgekehrte Verhältnifs $\frac{H}{dH}$ als die **Klarheit** der Beleuchtungsstärke $H$ zu bezeichnen, und diejenige Beleuchtung, bei welcher diese Gröfse ein Maximum wird, die **Lichtstärke gröfster Klarheit**, oder **klarste Beleuchtung** zu nennen.

326 **Täuschungen, die auf dem** FECHNER'**schen Gesetze beruhen.** Durch die oben nachgewiesene Abhängigkeit der Empfindungsstärke von der Lichtstärke erklärt sich eine Thatsache, die mir aufgefallen ist, dafs nämlich in dunklen Nächten helle Gegenstände verhältnissmassig zu ihrer Umgebung viel heller erscheinen, als bei Tage, sodafs man sich zuweilen der Voraussetzung nicht erwehren kann, sie seien selbstleuchtend. Bei sehr geringen Lichtstärken können wir nämlich die Empfindungsstärke der Lichtstärke proportional setzen, bei starker Beleuchtung dagegen ist die Empfindung für hellere Objecte relativ schwächer. Da wir nun gewöhnt sind, die Helligkeit der uns bekannten Objecte bei starker Beleuchtung zu vergleichen, so erscheinen uns bei schwacher Beleuchtung die hellen Gegenstände relativ zu hell, die dunkeln zu dunkel. Diesen Umstand benutzen auch die Maler in Mondscheinlandschaften, um den Eindruck schwacher Beleuchtung hervorzubringen. Sie heben die lichten Stellen viel greller heraus, als wenn sie Tageslicht darstellen.

Dadurch, dafs die Empfindungsstärke der objectiven Lichtstärke nicht proportional ist, erklärt sich nun weiter eine Reihe von Thatsachen, welche man früher unter dem Namen der Irradiation zusammengefafst hat, und welche das Gemeinsame haben, dafs stark beleuchtete Flächen gröfser erscheinen, als sie wirklich sind, während die benachbarten dunklen Flächen um ebenso viel kleiner erscheinen.

Die Erscheinungen selbst sind nach der Form der betrachteten Figuren sehr mannigfaltig; sie sind im Allgemeinen am deutlichsten sichtbar und am [illegible] des Auges für den betrachteten Gegenstand nicht genau pafst, sondern dieselbe entweder zu fern oder zu nah ist, oder [illegible] Auge mit einer Glaslinse [illegible] bewaffnet, welche

ccomodation unmöglich macht. Aber die Irradiation fehlt auch anz, wenn die Accommodation genau ist, und ist auch dann bei llen, namentlich kleinen Gegenständen deutlich zu bemerken, bei Gegenständen offenbar deshalb, weil deren Gröfse durch die schmalen uungskreise relativ mehr vergröfsert wird, als die gröfserer Gegen- gegen deren Dimensionen die Breite so schmaler Zerstreuungskreise, das gut accommodirte Auge liefert, verschwindet.

Helle Flächen erscheinen vergröfsert. Die Gröfse von engen und Spalten, durch welche helles Licht fällt, beurtheilen wir niemals sie erscheinen uns immer breiter, als sie wirklich sind, auch bei er Accommodation. Ebenso erscheinen auch die Fixsterne als kleine ächen, selbst wenn man sie durch ein Brillenglas betrachtet, welches Accommodation möglich macht. In einem Gitter aus feinen dunkeln mit Zwischenräumen, welche genau ebenso breit sind wie die (gewöhnliche Drahtgitter zu Interferenzversuchen) erscheinen vor hellen Hintergrunde die Zwischenräume stets breiter als die Stäbe. ungenaue Accommodation hinzu, so sind die Erscheinungen viel auf- r und werden auch an gröfseren Objecten sichtbar. *Fig. 154* zeigt ses Quadrat auf schwar- nde und ein schwarzes sem Grunde. Bei starker tung und unzureichender odation wird das weifse erscheinen, obgleich enau gleich grofs sind.

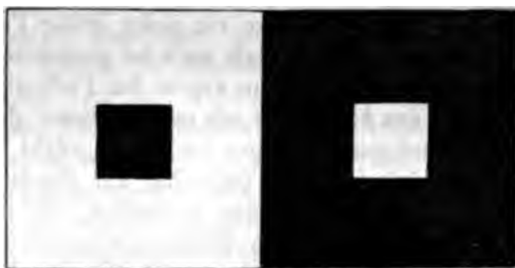


*Fig. 154.*

Nahe liegende helle n fliefsen zusammen. er Draht, welchen man das Auge und die cheibe oder eine helle Flamme hält, verschwindet, indem die beiden 322 Flächen, die im Gesichtsfelde neben ihm liegen, von beiden Seiten greifen und zusammenfliefsen. Bei Mustern, die aus schwarzen und Quadraten ähnlich dem eines Schachbretts zusammengesetzt sind . *155*, fliefsen durch die Irradiation die weifsen Felder an den Ecken en, und trennen die schwarzen. PLATEAU der von der Art wie *Fig. 155* auch zur der Breite der Irradiation benutzt. Aus dunkeln Schirme waren die weifsen Felder hnitten und von hinten erleuchtet, von den schwarzen Feldern war eines durch eine e horizontal verschiebbar, und wurde so llt, dafs dem Beobachter die beiden mittleren en Grenzlinien in eine zusammenzufallen . Für gröfsere Entfernungen waren die

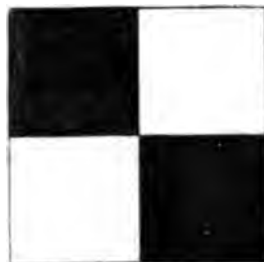


*Fig. 155.*

schwarzen Felder aus Brettchen, für kleinere aus Stahlplättchen verfertigt. Der Fehler, welcher bei der Einstellung begangen war, bezeichnete die Breite der Irradiation.

3) Gerade Linien werden unterbrochen. Wenn man die Kante eines Lineals zwischen das Auge und eine helle Lichtflamme oder die Sonne hält, so erscheint das Lineal an der Stelle, wo der helle Körper darüber hervorblickt, einen Ausschnitt zu haben, wie *Fig. 156* darstellt. Ich mache für den letzteren Fall gleichzeitig darauf aufmerksam, dafs wenn der helle Körper eine Lampenflamme mit cylindrischem Dochte ist, der Einschnitt an den Rändern der Flamme, welche, wie oben erwähnt, eine gröfsere absolute Helligkeit haben, tiefer erscheint als in der Mitte der Flamme, trotzdem das Auge die gröfsere Helligkeit der Ränder nicht als solche empfindet.



*Fig. 156.*

Alle diese Erscheinungen reduciren sich darauf, dafs die Ränder heller Flächen im Gesichtsfelde sich gleichsam verschieben und über die benachbarten dunkleren Flächen übergreifen. Sie greifen desto mehr über, je ungenauer die Accommodation ist, je gröfsere Zerstreuungskreise also ein jeder lichte Punkt der Fläche im Auge entwirft. Nun wissen wir aber, dafs auch bei genauster Accommodation die Zerstreuungskreise nicht ganz fehlen wegen der Farbenzerstreuung und der übrigen Abweichungen des Auges, die wir in § 14 unter dem Namen der monochromatischen Abweichungen des Auges zusammengefafst haben. Durch diese Zerstreuungskreise wird bewirkt, dafs sich am Rande des Netzhautbildes einer hellen Fläche das Licht weiter verbreitet, als das geometrische Bild der Fläche reicht, aber auch die Dunkelheit greift über den Rand des Bildes, d. h. das Licht fängt schon innerhalb des Randes, wo es noch seine volle Stärke haben sollte, an abzunehmen. Es sei in *Fig. 157* $c$ ein Punkt des Randes einer hellen Fläche, $bg$ eine senkrecht gegen den Rand gezogene gerade Linie. Senkrecht gegen dieselbe seien Coordinaten aufgetragen, welche der objectiven Helligkeit in den entsprechenden Punkten von $bg$ proportional sind. Wäre das Bild der Fläche
323 vollkommen genau, so würde die gebrochene Linie $adcg$ die Grösse der Helligkeit ausdrücken. Von $b$ bis zum Rande der Fläche bei $c$ würde nämlich die Fläche die volle Helligkeit $H$ haben, von $c$ ab nach $g$ zu die Helligkeit Null. Wenn durch Mangel der Accommodation Zerstreuungskreise gebildet werden, so nimmt dagegen, wie oben S. 167 gezeigt ist, die Helligkeit ab wie die Curve $afg$. Es greift dabei sowohl

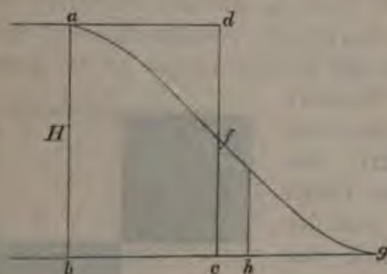



*Fig. 157.*

das Helle über das Dunkle über in $cg$, als das Dunkle über das Helle in $ad$, und soviel Licht sich über den Rand hinaus verbreitet, muſs natürlich innerhalb des Randes der hellen Fläche entzogen werden. So lange wir nur die objective Helligkeit berücksichtigen, würden also die hellen Flächen durch die Zerstreuungskreise nicht vergröſsert erscheinen können. Im Gegentheil die Fläche, welche die volle Helligkeit zeigt, ist durch die Zerstreuungskreise kleiner geworden, wenn auch die Fläche, welche überhaupt Licht empfängt, gröſser geworden ist. Berücksichtigen wir nun aber, daſs die Lichtempfindung für die höheren Stufen der objectiven Helligkeit garnicht oder wenig verschieden ist, so folgt daraus, daſs die Verminderung des Lichts innerhalb der Fläche weniger bemerkt werden wird, als die Erleuchtung vorher dunkler Stellen jenseits ihres Randes, sodaſs also für die Empfindung die Ausbreitung des Hellen allein, und nicht die des Dunkels vergröſsert erscheinen muſs. Am auffallendsten wird die Erscheinung sein, wenn die Fläche hell genug ist, daſs innerhalb der Zerstreuungskreise die Lichtempfindung schon ihr Maximum erreicht. Wäre das z. B. in *Fig. 157* bei $h$ der Fall, so würde die scheinbare Helligkeit bei $h$ nicht mehr von der vollen Helligkeit im Innern der Fläche zu unterscheiden sein. Die volle Helligkeit der Fläche würde also bis $h$ zu reichen scheinen und auch jenseits $h$ erst sehr langsam abnehmen, ehe sie bei $g$ ganz verschwindet. Daraus erhellt auch, warum für das zu Stande kommen der Irradiation groſse Helligkeit vortheilhaft ist. Desto näher nämlich an $g$ liegt die Stelle, wo das Maximum der Lichtempfindung erreicht wird. Daraus erklärt sich auch, warum bei gesteigerter Helligkeit des Grundes, selbst wenn die Empfindung dieser Helligkeit dabei nicht weiter steigen kann, doch die Irradiation noch wächst. Proportional der Ordinate $H$ wachsen nämlich bei gesteigerter objectiver Lichtstärke sämmtliche Ordinaten der Curve $ag$, und desto näher an $g$ rückt also auch die Ordinate, welche der für das Maximum der Empfindung genügenden Helligkeit entspricht. Messende Versuche über den Einfluſs der Helligkeit hat Plateau ausgeführt, und dabei gefunden, daſs die Gröſse der Irradiation nicht proportional der Helligkeit wächst, sondern in einem geringeren Maaſse, und bei steigender Helligkeit sich asymptotisch einem Maximum nähert, wie es auch aus unserer Erklärung folgt.

Es ergiebt sich ferner aus dieser Theorie, warum die Irradiation desto breiter wird, je groſsere Zerstreuungskreise sich bilden.

Da bei den meisten Personen die Zerstreuungskreise eines zu fernen Punkts nach der Höhe gröſser sind, als nach der Breite, erscheinen kleine helle Quadrate auf dunklem Grunde in einer für die Accommodation etwas zu groſsen Entfernung perpendiculär verlängert, und schwarze Quadrate auf weiſsem Grunde horizontal verlängert. Perpendiculäre Verlängerung gröſserer Quadrate sehen übrigens die meisten Personen auch bei genauer Accommodation. Nach den Versuchen von A. Fick[1] erschien einem geübten, nicht

[1] A. Fick [illegible] Neue Folge II. S. [illegible]

kurzsichtigen Auge bei 4500$^{mm}$ Abstand ein Rechteck von 22 Mm. horizontaler und 20 Mm. verticaler Seite als Quadrat, eines von 21 Mm. horizontaler und 20 Mm. verticaler Seite als vertical verlängertes Rechteck. Es ist dies eine Erscheinung anderer Art, die bei weifsen wie schwarzen Rechtecken gleichmäfsig eintritt, und später in der Lehre vom Augenmafse § 28 behandelt werden soll.

In anderen Augen, denen ein ferner Lichtpunkt dreistrahlig erscheint, machen sich auch in den andern Fällen von Irradiation drei Hauptrichtungen bemerklich, in denen sie am stärksten ist, wie es Joslin[1] beschreibt.

Ich habe in dem Vorstehenden den Namen der Irradiation nur auf diejenigen Fälle angewendet, wo man nicht die Zerstreuungskreise als solche wahrnimmt, sondern wo sich scheinbar die Fläche, welche die volle Beleuchtungsstärke hat, vergröfsert. Indessen ist vielfältig der Name der Irradiation auf die Bildung der Zerstreuungskreise überhaupt angewendet worden, auch wo man diese als lichtschwächere Theile des Bildes erkennt. Es ist aber wohl unnöthig, auf diese Fälle einen besonderen neuen Namen anzuwenden. Es können übrigens auch durch die Zerstreuungskreise neue Begrenzungslinien entstehen, welche das Object in veränderter Gröfse erscheinen lassen, ohne dafs die Lichtstärke noch einen besonderen Einflufs hätte. Namentlich hat Volkmann[2] gefunden, dafs sehr feine schwarze Fäden auf weifsem Grunde ebenso wie weifse auf dunklem Grunde für breiter gehalten werden, als sie sind, während die bisher betrachtete Art der Irradiation immer nur das Hellere vergröfsert. Volkmann benutzte Fäden von 0,0445 Mm. Dicke in 333 Mm. Entfernung vom Auge, welche demgemäfs dem Auge viel kleiner erscheinen mufsten, als die kleinsten wahrnehmbaren Distanzen. Er hatte ein Schraubenmikrometer so einrichten lassen, dafs die Fäden langsam einander genähert werden konnten, und stellte dem Experimentirenden die Aufgabe, die Fäden so zu stellen, dafs der Zwischenraum ebenso breit sei, wie die Fäden. Alle Individuen machten aber den Zwischenraum zu breit, und zwar auch, wenn er hell war, und die Fäden dunkel. Volkmann giebt davon die Erklärung, dafs man statt der schmalen schwarzen Streifen breitere Zerstreuungsbilder derselben sehe, denen man dann den mittleren hellen Zwischenraum gleich mache. Er benutzt deshalb auch diese Messungen, um die Breite der Zerstreuungsbildchen bei guter Accommodation zu bestimmen. Er selbst machte den Zwischenraum im Mittel gleich 0,207 Mm., während die Dicke der Fäden, denen derselbe gleich sein sollte, nur 0,0445 Mm. betrug, und berechnet daraus die Breite des Zerstreuungsbildes auf der Netzhaut gleich 0,0035 Mm., bei anderen Personen bei hellem Hintergrund schwankt diese letztere Gröfse zwischen 0,0006 und 0,0025. Diese Gröfsen sind kleiner als die kleinsten
325 sichtbaren Abstände (0,0044 Mm.) und als die Zapfen des gelben Flecks

[1] Vergl. J. Plateau. Pogg. Ann. Bd. 51a. S. 107. 1842.
[2] Volkmann. Berichte der sächsischen Ges. d. Wiss. 1857. S. 129–148.

0045 bis 0,0054), sodafs möglicher Weise die letzteren die Breite des hwarzen Bildes bestimmt haben können. Dafs so grofse Unterschiede in n Einstellungen vorkamen, darf bei einer so subtilen Aufgabe wohl nicht andern.

Aber auch schwarze Streifen von erkennbarer Breite, welche bei so ngenügender Accommodation betrachtet werden, dafs die Zerstreuungs- eise viel breiter sind, als die Streifen, erscheinen breiter als sie sind. ies scheint mir auf der Vertheilung des Lichts in dem Zerstreuungskreise u beruhen. Es sei *Fig. 158* $ab$ der Durchschnitt eines Papierblatts, auf elches eine schwarze Linie gezeichnet ist, e hier im Querschnitt als Punkt $c$ erscheint. s mögen durch mangelhafte Accommodation erstreuungskreise vom Radius $fc$ entstehen, o wird die Curve der Lichtstärke, in der ie einzelnen Punkte der Linie $ab$ im Netz- autbilde erscheinen, nach den in § 13 ent- ickelten Principien und abgesehen von den törungen durch Asymmetrie der Linse aus- edrückt durch die Linie $\alpha\varphi\gamma\delta\beta$. Hier er- eidet nun die Lichtstärke bei $\varphi$ und $\delta$ einen lötzlichen Abfall, und diese Stellen erscheinen deshalb als Grenzlinien.

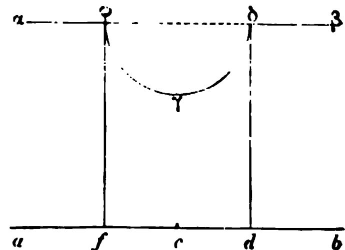


Fig. 158.

Wäre die Linie $c$ weifs auf schwarzem Grunde, so würde $\alpha\beta$ als Abscissen- inie zu nehmen sein, und die negativen Ordinaten der Curve $\varphi\gamma\delta$ würden lie Lichtstärke ausdrücken; auch dann haben wir bei $f$ und $d$ einen plötz- ichen Abfall der Lichtstärke. Davon übrigens, dafs solche Linien, in denen ler Differentialquotient der Lichtstärke unendlich grofs wird, als Grenzlinien er- scheinen, kann man sich mittels der rotirenden Scheibe überzeugen. Wenn man ine weifse Scheibe mit einem runden kreis- örmigen Flecke, wie *Fig. 159*, rotiren läfst, so rscheint der schwarze Fleck bei schneller Be- wegung wie ein grauer Kreis, dessen Licht- ntensität durch eine ganz ähnliche Curve wie $\alpha\varphi\gamma\delta\beta$ *Fig. 158* auszudrücken sein würde, wie aus den im folgenden Para- graphen zu entwickelnden Gesetzen her- vorgeht. Der graue Kreis erscheint dabei anz scharf begrenzt an beiden Seiten, nd in seinem Innern bemerkt man kaum le ungleichen Grade der Helligkeit; der reten erscheint vielmehr fast gleich- mäfsig grau gefärbt. Übrigens mischen h in die Zerstreuungsbilder schmaler schwarzer Streifen meist mehr er weniger die Doppelbilder ein, welche durch Asymmetrie der se entstehen (*Fig. 85, S. 172*), wobei die Lichtvertheilung im Zer-

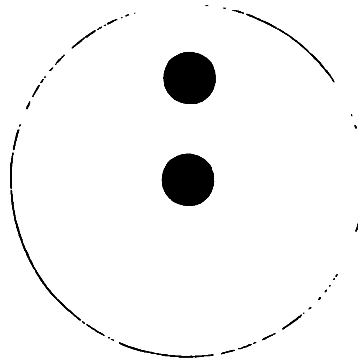




Fig. 2.

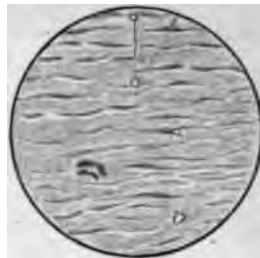


Fig. 3.

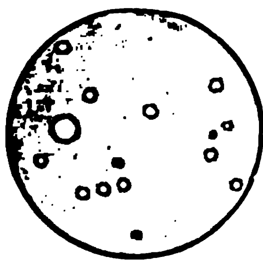


Fig. 4.

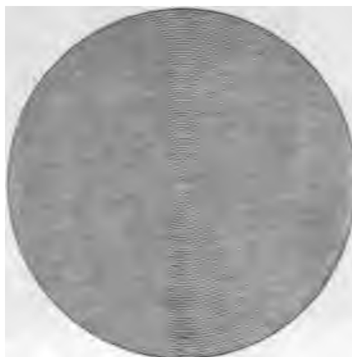


Fig. 1.

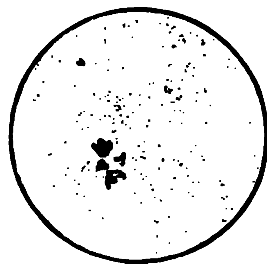


Fig. 5.

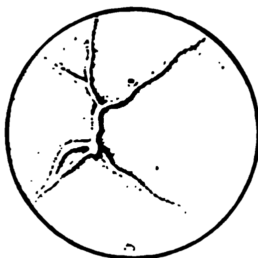


Fig. 6.

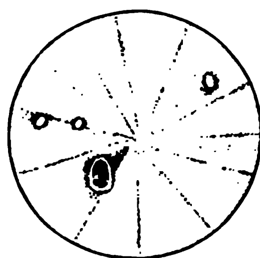


Fig. 7.

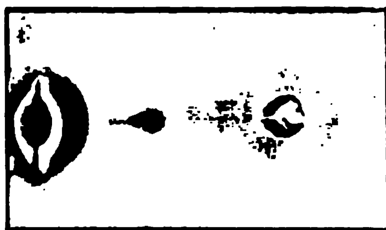



Fig. 8.




Fig. 9.

Verlag von Leopold Voss in Hamburg (u. Leipzig).

Helligkeit, die des deutlichsten Erkennens der Körperformen, als ausgezeichnet vor allen andern charakterisirt. Er ist allerdings nicht sehr scharf abzugrenzen, weil innerhalb breiter Abstufungen der Helligkeit das Verhältnifs $dH : H$ nur sehr kleine Unterschiede zeigt; auch ist die subjective Stärke der Empfindung zeitweilig durch die Wirkung vorausgegangenen Lichts grofsen Veränderungen unterworfen. Indessen wird sich bei dauerndem Verweilen in gleichmässig heller Umgebung doch immer wieder der gleiche Zustand des Auges für jeden Grad der Beleuchtung, und somit auch dieselbe Empfindungsstärke herstellen müssen.

Es scheint mir wünschenswerth, diese Verhältnisse durch kurze Namen zu bezeichnen. Je kleiner für eben noch wahrnehmbare Empfindungsunterschiede das Verhältnifs $dH : H$ ist, desto deutlicher erkennen wir die Objecte. Ich werde mir erlauben das umgekehrte Verhältnifs $\frac{H}{dH}$ als die Klarheit der Beleuchtungsstärke $H$ zu bezeichnen, und diejenige Beleuchtung, bei welcher diese Gröfse ein Maximum wird, die Lichtstärke gröfster Klarheit, oder klarste Beleuchtung zu nennen.

316 Täuschungen, die auf dem FECHNER'schen Gesetze beruhen. Durch die oben nachgewiesene Abhängigkeit der Empfindungsstärke von der Lichtstärke erklärt sich eine Thatsache, die mir aufgefallen ist, dafs nämlich in dunklen Nächten helle Gegenstände verhältnissmässig zu ihrer Umgebung viel heller erscheinen, als bei Tage, sodafs man sich zuweilen der Voraussetzung nicht erwehren kann, sie seien selbstleuchtend. Bei sehr geringen Lichtstärken können wir nämlich die Empfindungsstärke der Lichtstärke proportional setzen, bei starker Beleuchtung dagegen ist die Empfindung für hellere Objecte relativ schwächer. Da wir nun gewöhnt sind, die Helligkeit der uns bekannten Objecte bei starker Beleuchtung zu vergleichen, so erscheinen uns bei schwacher Beleuchtung die hellen Gegenstände relativ zu hell, die dunkeln zu dunkel. Diesen Umstand benutzen auch die Maler in Mondscheinlandschaften, um den Eindruck schwacher Beleuchtung hervorzubringen. Sie heben die lichten Stellen viel greller heraus, als wenn sie Tageslicht darstellen.

321 Daraus, dafs die Empfindungsstärke der objectiven Lichtstärke nicht proportional ist, erklärt sich nun weiter eine Reihe von Thatsachen, welche man bisher unter dem Namen der Irradiation zusammengefafst hat, und welche das Gemeinsame haben, dafs stark beleuchtete Flächen gröfser erscheinen, als sie wirklich sind, während die benachbarten dunklen Flächen um eben soviel kleiner erscheinen.

Die Erscheinungen selbst sind nach der Form der betrachteten Figuren sehr mannigfaltig, sie sind im allgemeinen am leichtesten sichtbar und am stärksten, wenn die Accommodation des Auges für den betrachteten Gegenstand nicht genau pafst, einerlei ob dieselbe zu fern oder zu nah ist, oder ob man das Auge mit einer Glaslinse, concav oder convex, bewaffnet, welche

ccomodation unmöglich macht. Aber die Irradiation fehlt auch inz, wenn die Accommodation genau ist, und ist auch dann bei llen, namentlich kleinen Gegenständen deutlich zu bemerken, bei iegenständen offenbar deshalb, weil deren Gröfse durch die schmalen ungskreise relativ mehr vergröfsert wird, als die gröfserer Gegen- gegen deren Dimensionen die Breite so schmaler Zerstreuungskreise, das gut accommodirte Auge liefert, verschwindet.

Helle Flächen erscheinen vergröfsert. Die Gröfse von engen und Spalten, durch welche helles Licht fällt, beurtheilen wir niemals sie erscheinen uns immer breiter, als sie wirklich sind, auch bei r Accommodation. Ebenso erscheinen auch die Fixsterne als kleine ıchen, selbst wenn man sie durch ein Brillenglas betrachtet, welches Accommodation möglich macht. In einem Gitter aus feinen dunkeln mit Zwischenräumen, welche genau ebenso breit sind wie die gewöhnliche Drahtgitter zu Interferenzversuchen) erscheinen vor ellen Hintergrunde die Zwischenräume stets breiter als die Stäbe. ungenaue Accommodation hinzu, so sind die Erscheinungen viel auf- und werden auch an gröfseren Objecten sichtbar. *Fig. 154* zeigt es Quadrat auf schwar- nde und ein schwarzes em Grunde. Bei starker ung und unzureichender odation wird das weifse erscheinen, obgleich nau gleich grofs sind.

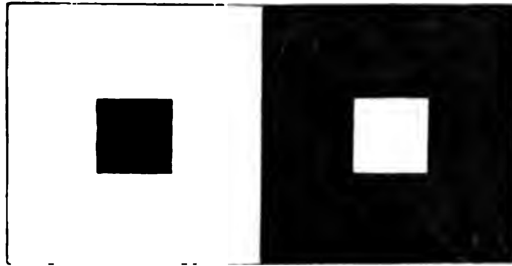


*Fig. 154*

Nahe liegende helle ı fliefsen zusammen. er Draht, welchen man das Auge und die heibe oder eine helle Flamme hält, verschwindet, indem die beiden 322
lachen, die im Gesichtsfelde neben ihm liegen, von beiden Seiten reifen und zusammenfliefsen. Bei Mustern, die aus schwarzen und Quadraten ähnlich dem eines Schachbretts zusammengesetzt sind *155*, fliefsen durch die Irradiation die weifsen Felder an den Ecken en, und trennen die schwarzen. Plateau ler von der Art wie *Fig. 155* auch zur der Breite der Irradiation benutzt. Aus unkeln Schirme waren die weifsen Felder nitten und von hinten erleuchtet, von den schwarzen Feldern war eines durch eine horizontal verschiebbar, und wurde so lt, dafs dem Beobachter die beiden mittleren n Grenzlinien in eine zusammenzufallen . Für gröfsere Entfernungen waren die

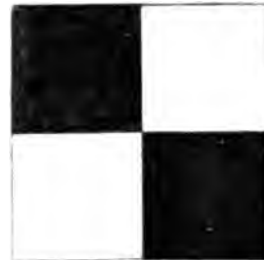


*Fig. 155.*

schwarzen Felder aus Brettchen, für kleinere aus Stahlplättchen ve Der Fehler, welcher bei der Einstellung begangen war, bezeichnete di der Irradiation.

3) Gerade Linien werden unterbrochen. Wenn man di eines Lineals zwischen das Auge und eine helle Lichtflamme o Sonne hält, so erscheint das Lineal an der Stelle, wo der helle darüber hervorblickt, einen Ausschnitt zu haben, wie *Fig. 156* d Ich mache für den letzteren Fall glei darauf aufmerksam, dafs wenn der helle eine Lampenflamme mit cylindrischem ist, der Einschnitt an den Rändern der welche, wie oben erwähnt, eine gröfsere Helligkeit haben, tiefer erscheint als Mitte der Flamme, trotzdem das Auge die Helligkeit der Ränder nicht als solche em



*Fig. 156.*

Alle diese Erscheinungen reducir darauf, dafs die Ränder heller Flächen im Gesichtsfelde sich gleichs schieben und über die benachbarten dunkleren Flächen übergreife greifen desto mehr über, je ungenauer die Accommodation ist, je Zerstreuungskreise also ein jeder lichte Punkt der Fläche im Auge Nun wissen wir aber, dafs auch bei genauster Accommodation die Zerstr kreise nicht ganz fehlen wegen der Farbenzerstreuung und der übrigen chungen des Auges, die wir in § 14 unter dem Namen der monochrom Abweichungen des Auges zusammengefafst haben. Durch diese Zerstr kreise wird bewirkt, dafs sich am Rande des Netzhautbildes einer Fläche das Licht weiter verbreitet, als das geometrische Bild der reicht, aber auch die Dunkelheit greift über den Rand des Bildes das Licht fängt schon innerhalb des Randes, wo es noch sein Stärke haben sollte, an abzunehmen. Es sei in *Fig. 157* $c$ ein Pu Randes einer hellen Fläche, $bg$ eine senkrecht gegen den Rand g gerade Linie. Senkrecht gegen seien Coordinaten aufgetragen, der objectiven Helligkeit in de sprechenden Punkten von $bg$ tional sind. Wäre das Bild der vollkommen genau, so würde die
323 chene Linie $adcg$ die Gröss Helligkeit ausdrücken. Von $b$ b Rande der Fläche bei $c$ würde die Fläche die volle Helligkeit $H$ von $c$ ab nach $g$ zu die Helligke Wenn durch Mangel der Accomm

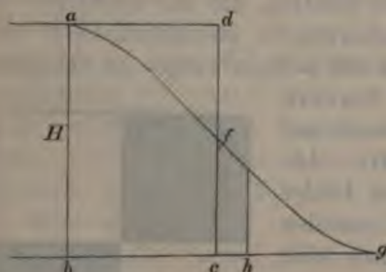



*Fig. 157.*

Zerstreuungskreise gebildet werden, so nimmt dagegen, wie oben gezeigt ist, die Helligkeit ab wie die Curve $afg$. Es greift dabei

das Helle über das Dunkle über in $cg$, als das Dunkle über das Helle in $ad$, und soviel Licht sich über den Rand hinaus verbreitet, muſs natürlich innerhalb des Randes der hellen Fläche entzogen werden. So lange wir nur die objective Helligkeit berücksichtigen, würden also die hellen Flächen durch die Zerstreuungskreise nicht vergröſsert erscheinen können. Im Gegentheil die Fläche, welche die volle Helligkeit zeigt, ist durch die Zerstreuungskreise kleiner geworden, wenn auch die Fläche, welche überhaupt Licht empfängt, gröſser geworden ist. Berücksichtigen wir nun aber, daſs die Lichtempfindung für die höheren Stufen der objectiven Helligkeit garnicht oder wenig verschieden ist, so folgt daraus, daſs die Verminderung des Lichts innerhalb der Fläche weniger bemerkt werden wird, als die Erleuchtung vorher dunkler Stellen jenseits ihres Randes, sodaſs also für die Empfindung die Ausbreitung des Hellen allein, und nicht die des Dunkels vergröſsert erscheinen muſs. Am auffallendsten wird die Erscheinung sein, wenn die Fläche hell genug ist, daſs innerhalb der Zerstreuungskreise die Lichtempfindung schon ihr Maximum erreicht. Wäre das z. B. in *Fig. 157* bei $h$ der Fall, so würde die scheinbare Helligkeit bei $h$ nicht mehr von der vollen Helligkeit im Innern der Fläche zu unterscheiden sein. Die volle Helligkeit der Fläche würde also bis $h$ zu reichen scheinen und auch jenseits $h$ erst sehr langsam abnehmen, ehe sie bei $g$ ganz verschwindet. Daraus erhellt auch, warum für das zu Stande kommen der Irradiation groſse Helligkeit vortheilhaft ist. Desto näher nämlich an $g$ liegt die Stelle, wo das Maximum der Lichtempfindung erreicht wird. Daraus erklärt sich auch, warum bei gesteigerter Helligkeit des Grundes, selbst wenn die Empfindung dieser Helligkeit dabei nicht weiter steigen kann, doch die Irradiation noch wächst. Proportional der Ordinate $H$ wachsen nämlich bei gesteigerter objectiver Lichtstärke sämmtliche Ordinaten der Curve $ag$, und desto näher an $g$ rückt also auch die Ordinate, welche der für das Maximum der Empfindung genügenden Helligkeit entspricht. Messende Versuche über den Einfluſs der Helligkeit hat Plateau ausgeführt, und dabei gefunden, daſs die Gröſse der Irradiation nicht proportional der Helligkeit wächst, sondern in einem geringeren Maaſse, und bei steigender Helligkeit sich asymptotisch einem Maximum nähert, wie es auch aus unserer Erklärung folgt.

Es ergiebt sich ferner aus dieser Theorie, warum die Irradiation desto stärker wird, je gröſsere Zerstreuungskreise sich bilden.

Da bei den meisten Personen die Zerstreuungskreise eines zu fernen Punkts nach der Höhe gröſser sind, als nach der Breite, erscheinen kleine helle Quadrate auf dunklem Grunde in einer für die Accommodation etwas zu groſsen Entfernung perpendiculär verlängert, und schwarze Quadrate auf weiſsem Grunde horizontal verlängert. Perpendiculäre Verlängerung gröſserer Quadrate sehen übrigens die meisten Personen auch bei genauer Accommodation. Nach den Versuchen von A. Fick[1] erschien einem geübten, nicht

[1] A. Fick, [illegible] Nr. [illegible] II [illegible]

kurzsichtigen Auge bei 4500$^{mm}$ Abstand ein Rechteck von 22 Mm. horizontaler und 20 Mm. verticaler Seite als Quadrat, eines von 21 Mm. horizontaler und 20 Mm. verticaler Seite als vertical verlängertes Rechteck. Es ist dies eine Erscheinung anderer Art, die bei weifsen wie schwarzen Rechtecken gleichmäfsig eintritt, und später in der Lehre vom Augenmafse § 28 behandelt werden soll.

In anderen Augen, denen ein ferner Lichtpunkt dreistrahlig erscheint, machen sich auch in den andern Fällen von Irradiation drei Hauptrichtungen bemerklich, in denen sie am stärksten ist, wie es Joslin[1] beschreibt.

Ich habe in dem Vorstehenden den Namen der Irradiation nur auf diejenigen Fälle angewendet, wo man nicht die Zerstreuungskreise als solche wahrnimmt, sondern wo sich scheinbar die Fläche, welche die volle Beleuchtungsstärke hat, vergröfsert. Indessen ist vielfältig der Name der Irradiation auf die Bildung der Zerstreuungskreise überhaupt angewendet worden, auch wo man diese als lichtschwächere Theile des Bildes erkennt. Es ist aber wohl unnöthig, auf diese Fälle einen besonderen neuen Namen anzuwenden. Es können übrigens auch durch die Zerstreuungskreise neue Begrenzungslinien entstehen, welche das Object in veränderter Gröfse erscheinen lassen, ohne dafs die Lichtstärke noch einen besonderen Einflufs hätte. Namentlich hat Volkmann[2] gefunden, dafs sehr feine schwarze Fäden auf weifsem Grunde ebenso wie weifse auf dunklem Grunde für breiter gehalten werden, als sie sind, während die bisher betrachtete Art der Irradiation immer nur das Hellere vergröfsert. Volkmann benutzte Fäden von 0,0445 Mm. Dicke in 333 Mm. Entfernung vom Auge, welche demgemäfs dem Auge viel kleiner erscheinen mufsten, als die kleinsten wahrnehmbaren Distanzen. Er hatte ein Schraubenmikrometer so einrichten lassen, dafs die Fäden langsam einander genähert werden konnten, und stellte dem Experimentirenden die Aufgabe, die Fäden so zu stellen, dafs der Zwischenraum ebenso breit sei, wie die Fäden. Alle Individuen machten aber den Zwischenraum zu breit, und zwar auch, wenn er hell war, und die Fäden dunkel. Volkmann giebt davon die Erklärung, dafs man statt der schmalen schwarzen Streifen breitere Zerstreuungsbilder derselben sehe, denen man dann den mittleren hellen Zwischenraum gleich mache. Er benutzt deshalb auch diese Messungen, um die Breite der Zerstreuungsbildchen bei guter Accommodation zu bestimmen. Er selbst machte den Zwischenraum im Mittel gleich 0,207 Mm., während die Dicke der Fäden, denen derselbe gleich sein sollte, nur 0,0445 Mm. betrug, und berechnet daraus die Breite des Zerstreuungsbildes auf der Netzhaut gleich 0,0035 Mm., bei anderen Personen bei hellem Hintergrund schwankt diese letztere Gröfse zwischen 0,0006 und 0,0025. Diese Gröfsen sind kleiner als die kleinsten
325 sichtbaren Abstände (0,0044 Mm.) und als die Zapfen des gelben Flecks

[1] Vergl. J. Plateau. *Pogg. Ann.* Bd. 51a. S. 107. 1842.
[2] Volkmann. *Berichte der sächsischen Ges. d. Wiss.* 1857. S. 129–148.

(0045 bis 0,0054), sodafs möglicher Weise die letzteren die Breite des ıwarzen Bildes bestimmt haben können. Dafs so grofse Unterschiede in n Einstellungen vorkamen, darf bei einer so subtilen Aufgabe wohl nicht ndern.

Aber auch schwarze Streifen von erkennbarer Breite, welche bei so genügender Accommodation betrachtet werden, dafs die Zerstreuungs-ise viel breiter sind, als die Streifen, erscheinen breiter als sie sind. es scheint mir auf der Vertheilung des Lichts in dem Zerstreuungskreise beruhen. Es sei *Fig. 158* $ab$ der Durchschnitt eines Papierblatts, auf lches eine schwarze Linie gezeichnet ist, hier im Querschnitt als Punkt $c$ erscheint. mögen durch mangelhafte Accommodation rstreuungskreise vom Radius $fc$ entstehen, wird die Curve der Lichtstärke, in der e einzelnen Punkte der Linie $ab$ im Netzutbilde erscheinen, nach den in § 13 entickelten Principien und abgesehen von den örungen durch Asymmetrie der Linse ausdrückt durch die Linie $\alpha\varphi\gamma\delta\beta$. Hier eridet nun die Lichtstärke bei $\varphi$ und $\delta$ einen lötzlichen Abfall, und diese Stellen erscheinen deshalb als Grenzlinien. äre die Linie $c$ weifs auf schwarzem Grunde, so würde $\alpha\beta$ als Abscissenie zu nehmen sein, und die negativen Ordinaten der Curve $\varphi\gamma\delta$ würden ie Lichtstärke ausdrücken; auch dann haben wir bei $f$ und $d$ einen plötzhen Abfall der Lichtstärke. Davon übrigens, dafs solche Linien, in denen r Differentialquotient der Lichtstärke unendlich grofs wird, als Grenzlinien erscheinen, kann man sich mittels der rotirenden Scheibe überzeugen. Wenn man

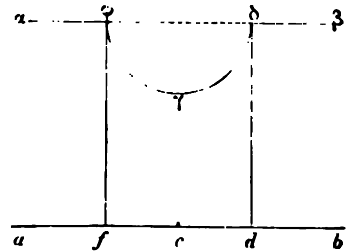
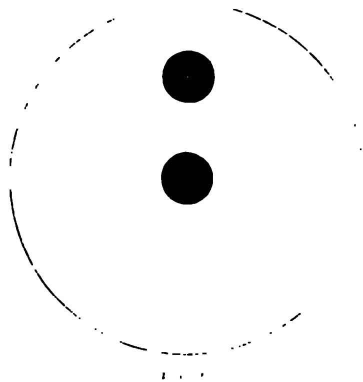



Fig. 158.

ne weifse Scheibe mit einem runden kreisförmigen Flecke, wie *Fig. 159*, rotiren läfst, so scheint der schwarze Fleck bei schneller Bewegung wie ein grauer Kreis, dessen Lichttensität durch eine ganz ähnliche Curve ie $\alpha\varphi\gamma\delta\beta$ *Fig. 158* auszudrücken sein ürde, wie aus den im folgenden Paragraphen zu entwickelnden Gesetzen hergeht. Der graue Kreis erscheint dabei nz scharf begrenzt an beiden Seiten, d in seinem Innern bemerkt man kaum e ungleichen Grade der Helligkeit; der[illegible] erscheint vielmehr fast gleichmäfsig grau gefärbt. Übrigens mischen h in die Zerstreuungsbilder schmaler schwarzer Streifen meist mehr er weniger die Doppelbilder ein, welche durch Asymmetrie der se entstehen (*Fig. 85*, S. 172), wobei die Lichtvertheilung im Zer-



streuungsbilde zwar verändert wird, aber doch jedenfalls die gröfsere Breite des Bildes bestehen bleibt.

Sobald der schwarze Streifen nicht mehr sehr schmal ist gegen die Breite der Zerstreuungsbilder, so nimmt auch die Helligkeit an seinem
326 Rande allmälig ab, wie in *Fig. 157*, und dann erscheinen seine Ränder verwaschen grau, seine Mitte schwarz. Man erkennt alsdann das Vorhandensein von Zerstreuungskreisen und die Täuschung schwindet. Der Unterschied zeigt sich sehr auffallend in einem von VOLKMANN angegebenen Versuche. Man betrachte die *Fig. 160* aus solcher Entfernung, dafs die Accommodation beträchtlich mangelhaft ist, so wird man finden, dafs der mittlere weifse Streifen, der überall gleiche Breite hat, eine keulenförmige Gestalt bekommt, indem das zwischen den breiten schwarzen Flächen stehende Ende breit wird, das zwischen den schmalen schwarzen Streifen stehende dagegen schmaler wird und gleichsam den Griff der Keule bildet. Zwischen den breiten schwarzen Flächen breitet sich der weifse Streifen durch die gewöhnliche Art der Irradiation aus. Die schmalen schwarzen Streifen dagegen verwandeln sich in breitere graue, und beeinträchtigen dadurch die Breite des zwischen ihnen liegenden mittleren Weifs. PLATEAU hat ähnliche Phänomene beschrieben, daraus aber geschlofsen, dafs die Irradiation zweier benachbarter weifser Ränder sich gegenseitig beschränke.



*Fig. 160.*

Diese zuletzt beschriebenen Phänomene der Ausbreitung dunkler Streifen sind deshalb einfache Fälle von Zerstreuungsbildern, unabhängig von der Beleuchtungsstärke und von dem Gesetze der Empfindungsstärke. Ich würde deshalb vorziehen, den Namen der Irradiation nicht auf sie anzuwenden, sondern diesen zu beschränken auf diejenigen Fälle, wo die Erscheinung von der Beleuchtungsstärke abhängt.

Eine sehr grofse Anzahl von Physikern und Physiologen hat eine andere Erklärung der Irradiationserscheinungen angenommen, welche namentlich von PLATEAU vertheidigt und ausführlich durchgeführt ist. Danach wird angenommen, dafs in der Netzhaut eine erregte Nervenfaser die Fähigkeit habe, den Zustand der Reizung auch in den benachbarten Fasern hervorzurufen, so dafs auch diese Lichtempfindung veranlassen, obgleich sie von keinem objectiven Lichte getroffen werden. Es würde dies ein Fall sogenannter M i t e m p f i n d u n g sein. Dergleichen Mitempfindungen kommen bei anderen sensiblen Nerven vor. Viele Personen empfinden z. B. Kitzel in der Nase, wenn heftiges Licht in ihr Auge fällt, empfinden ein kaltes Überlaufen in der Haut des Rumpfes, wenn sie kreischende oder quietschenden Töne hören. In diesen und anderen Fällen kann die Übertragung der Reizung von der primär erregten Nervenfaser auf die andere



Fig. 2.

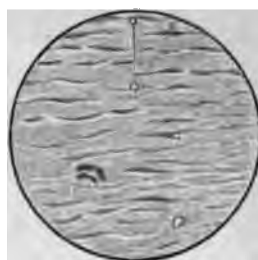


Fig. 3.



Fig. 4.

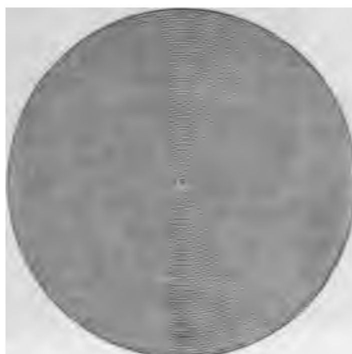


Fig. 1.

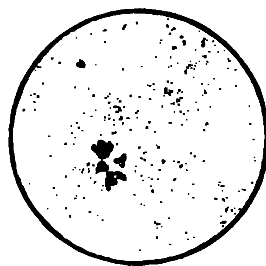


Fig. 5.

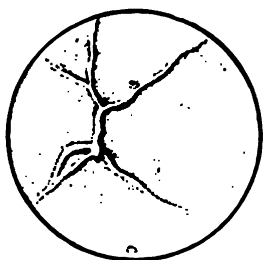


Fig. 6.

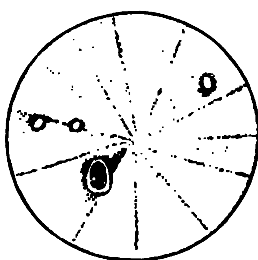


Fig. 7.




a b

Fig. 8.




Fig. 9.

Verlag von Leopold Voss in Hamburg (u. Leipzig).

rst innerhalb der Centralorgane geschehen, da der Sehnerv mit den sensiblen ierven der Nase (*Nervus trigeminus*) und der Hörnerv mit den Hautnerven es Rumpfes keine andere anatomische Communication hat, als durch die entralorgane. Übrigens kommen dergleichen Mitempfindungen immer nur ı ziemlich vereinzelten Beispielen vor, und die angeführte Deutung der- elben kann nicht als fest begründet angesehen werden, weil möglicherweise uch reflectorische Entladungen nach den absondernden Drüsen der Nase der den Gefäfsmuskeln der Hautgefäfse ähnliche Empfindungen mittelbar ervorrufen könnten. Dafs in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle die rregung einer sensiblen Faser nicht auf andere Fasern übertragen wird, 327
eht schon aus der allgemeinen Erfahrung hervor, wonach wir die einzelnen indrücke, welche auf unsere Sinnesorgane geschehen, eben isolirt empfinden önnen. Wird eine Hautstelle gestochen, dadurch die zugehörige Nerven- aser erregt, so würden ausgebreitete Schmerzempfindungen in vielen Stellen ler Haut entstehen müssen, wenn die Überleitung auf andere Nervenfasern regelmäfsig und constant vorkäme. Wir würden dann die primär erregte Stelle von den secundär erregten nicht sicher unterscheiden können. In der Regel empfinden wir nun Reizung einer einzelnen Hautstelle eben nur in der ge- reizten Stelle, und etwa ihrer allernächsten Nachbarschaft, den ziemlich grofsen Empfindungskreisen der Haut entsprechend. Es treten also keine Mit- empfindungen ein. Wenn aber der örtliche Schmerz sehr heftig ist und sehr lange dauert, so treten allerdings auch Schmerzen in den benachbarten Theilen ein, welche gewöhnlich als Mitempfindungen gedeutet werden, aber freilich auch von der Ausbreitung der schmerzerregenden Schädlichkeit oder der Ent zündung herrühren können. PLATEAU erinnert auch an die Thatsache, dafs, wenn das Bild eines auf weifses Papier gezeichneten schwarzen Flecks auf die Eintrittsstelle des Sehnerven fällt, in der entsprechenden Stelle des Gesichtsfeldes nur Weifs empfunden wird, und nimmt auch hier eine Aus- breitung der Erregung über die Eintrittsstelle des Sehnerven an. Dafs aber diese Erscheinung ganz anderer Art ist, werden wir später zeigen. Wenn man also die Irradiation im Auge als Mitempfindung auffassen will, so würde diese Ansicht sich doch nur auf selbst noch zweifelhafte Analogien in andern Theilen des Nervensystems stützen müssen. Andererseits sind die Er- scheinungen der Irradiation im Auge alle der Art, dafs immer auch objectives Licht auf die Theile der Netzhaut fällt oder fallen kann, wo man die Mit- empfindung vermuthet. Die Stärke der Irradiation ist durchaus der Gröfse ler Zerstreuungskreise proportional und die ganze Erscheinung läfst sich mit allen ihren Einzelheiten aus anderen wohl festgestellten Erklärungs- rincipien herleiten, sodafs ich es für ungerechtfertigt halte, in einem solchen alle neue Principien von zweifelhafter Richtigkeit zu Hülfe zu nehmen.

Wenn man die peripherischen Enden der Sehnervenfasern als netz- »
rmig verästelt ansieht, wie es wahrscheinlich die der Tastnerven in der aut sind, so würde die Reizung einer punktförmigen Stelle allerdings eine nzahl benachbarter Nervenfasern erregen können, und wenn die Erregung

auch der etwas entfernteren das Maximum der Empfindung erreichte, würde der ganze Umkreis, so weit dies geschieht, gleichmäfsig beleuchtet erscheinen. Das wäre nicht im eigentlichen Sinne Mitempfindung, denn die mitempfindenden Fasern wären alle auch vom Reize mitgetroffen. Durch das Gesetz der Unterschiedsschwellen würde aber die Localisation ungenau, welche in der erwähnten Hypothese davon abhängt, dafs das Verhältnifs, in welchem die Erregungsstärke der verschiedenen Fasern steht, richtig abgeschätzt wird. Diese Hypothese würde also in der That eine von der Ausbreitung objectiven Lichts unabhängige Art der Irradiation geben.

Unterschiedsschwellen verschiedener Farben. Von den Herren A. König und E. Brodhun[1] sind neuerdings auch Versuchsreihen angestellt worden über die Gröfse der Unterschiedsschwellen bei verschieden farbigem Lichte. Es hat sich dabei gezeigt, dafs wenn man eine passende Wahl der Beleuchtungseinheiten für die verschiedenen Spectralfarben trifft, der Gang der Unterschiedsschwellen in ihrer Abhängigkeit von den absoluten Lichtstärken für grössere Intensitäten nur kleine unsichere Unterschiede zeigt. Dagegen zeigt sich bei den geringeren Beleuchtungsstärken ein beträchlicher Unterschied zwischen den brechbaren und weniger brechbaren Farben. Bei den ersteren, den blauen Farben sind alsdann viel kleinere Unterschiede der objectiven Lichtstärke wahrnehmbar als bei den rothgelben Farben.

Ich gebe hier Figur 161 f. S., welche von den genannten Autoren nach ihren Beobachtungen construirt worden ist, und den Unterschied für die schwächeren Intensitäten stark hervortreten läfst. Zu dem Ende sind als Abscissen horizontal nicht die Werthe der Lichtstärken, die in Ziffern darunter angegeben sind, sondern deren Logarithmen aufgetragen, und als Ordinaten die Gröfsen $\frac{dr}{r}$ (auch in Ziffern angegeben), welche nach dem Fechnerschen Gesetze constant sein sollten, und je höher sie ausfallen, desto gröfsere Unempfindlichkeit des Auges für schwache Beleuchtungsunterschiede anzeigen. Der Zweig I der Curve bezieht sich auf die hohen Beleuchtungsstärken, II auf die blaue Hälfte des Spectrum, die Wellenlängen 505 $\mu\mu$ bis 430 $\mu\mu$ zusammenfassend, III auf die rothgelbe, zwischen den Wellenlängen 670 $\mu\mu$ und 575 $\mu\mu$.

Die Ausführung dieser Versuche geschah in folgender Weise:

Als Lichtquelle diente entweder ein sog. Triplex-Gasbrenner oder für die gröfseren Intensitäten ein Linnemannsches Zirconlicht.

Ein bilateraler Spalt $S_1$, dessen Breite durch eine Mikrometerschraube bestimmt werden konnte, stand im Brennpuncte einer Linse $L_1$ von 10 cm Durchmesser. Das somit fast parallel gemachte Strahlenbündel wurde in einem mit zimmtsaurem Äthylaether gefüllten Flüssigkeitsprisma $P$ von entsprechender Gröfse dispergirt und dann durch die achromatische Objectivlinse $L_2$ eines grofsen astronomischen Fernrohrs zu einem Spectrum wieder vereinigt, welches von der Lithiumlinie (670 $\mu\mu$) bis zur $G$-Linie (430 $\mu\mu$) eine Ausdehnung von ungefähr 20 cm

[1] Arthur König und Eugen Brodhun, Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel in Bezug auf den Gesichtssinn. *Sitzungsberichte d. Akad. zu Berlin.* 26. Juli. 1888.

hatte. In der Ebene dieses Spectrum war ein rechteckiger Spalt $S_2$ von etwa 5 mm Breite und 7 mm Höhe aufgestellt, und hinter diesem ein Doppelspath, dessen Hauptschnitt vertical und zwar senkrecht zu jener Spaltebene stand. Durch diesen Doppelspath hindurch wurde nun der Spalt $S_2$ vermittelst eines kurzen astronomischen Fernrohrs betrachtet, in dessen Ocular $O$ ein NICOLsches Prisma $N_2$ eingesetzt war. In Folge der geringen Breite des Spaltes im Vergleich zu der ganzen Ausdehnung des Spectrum war selbst in denjenigen Theilen desselben, wo der Farbenton am schnellsten wechselt, keine Farbendifferenz seiner beiden Ränder wahrzunehmen. Die Einstellung auf die sechs benutzten Wellenlängen geschah, indem an einer Scala die Lage der hauptsächlichsten FRAUNHOFERschen Linien des

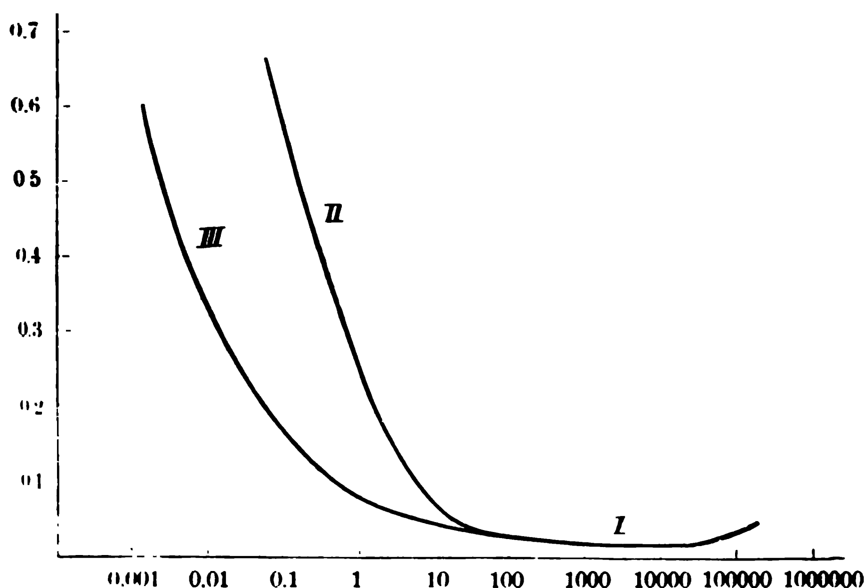



*Fig. 161*

Spectrum bestimmt wurde und man dann den Spalt $S_2$ (nebst den mit ihm fest verbundenen Oculartheilen des Apparates) an den durch Interpolation bestimmten entsprechenden Scalentheil stellte. Die Spalthöhe von $S_2$ war der Gröfse des Doppelspathes so angepafst worden, dafs die beiden durch den letzteren erzeugten Bilder gegen einander um die halbe Spalthöhe verschoben waren, man also drei Rechtecke von gleicher Gröfse vertical übereinander sah. Das untere wurde aber durch ein geeignetes Ocular-Diaphragma abgeblendet. Jedes dieser Rechtecke hatte eine scheinbare Höhe von ungefähr $3^{0}$ und eine scheinbare Breite von $4\frac{1}{3}^{0}$. Stand der Hauptschnitt des Ocularnicol $N_2$ parallel dem Hauptschnitte des Doppelspathes, so erschienen beide Rechtecke gleich hell, bei einer Drehung des Nicol um $90^{0}$ war hingegen das obere Rechteck gänzlich ausgelöscht, während das untere, durch Übereinanderlagerung entstandene, seine Intensität unverändert beibehalten hatte. Es setzt dieses freilich voraus, dass das den Spalt $S_2$ erleuchtende Spectrallicht unpolarisirt oder in einer Ebene polarisirt ist, welche mit dem Hauptschnitt

des Doppelspathes einen Winkel von 45° bildet. Da das erstere nun in Folge der Reflexion an den Flächen des Flüssigkeitsprismas $P$ nicht der Fall ist, so wurde unmittelbar vor den rechteckigen Spalt $S_2$ nach der Linse $L_2$ hin ein anderes NICOLsches Prisma $N_1$ eingeschaltet, dessen Polarisationsebene die erforderliche Neigung hatte. Man konnte nun durch Drehen des Ocular-Nicol $N_2$ das obere Rechteck von der constant bleibenden Intensität des unteren Rechteckes ab bis zum Verschwinden in meſsbarer Weise verdunkeln, während die Grenze beider Felder durch kein andres Markzeichen als der Helligkeitsunterschied angezeigt war. Eine Einstellung zur Bestimmung der Unterschiedsschwelle bestand darin, das man das obere Rechteck eben merklich gegen das untere verdunkelte. Bezeichnen wir dann die Intensität des bei dieser Einstellung constant bleibenden unteren Rechteckes mit $J$, den Winkel, den die Polarisationsebene des Ocular-Nicols $N_2$ gegen den Hauptschnitt des Doppelspathes bildet, mit $\alpha$, so haben wir die Relationen:

$$r + \delta r = J$$

$$r = J \cdot \cos \alpha^2$$

woraus folgt

$$\delta r = J \cdot \sin \alpha^2$$

und

$$\frac{\delta r}{r} = tg\, \alpha^2.$$

Wir brauchen also nur den Winkel $\alpha$ und die Intensität $J$ zu kennen.

Der erstere wurde an einem Theilkreise für jede Unterschiedsschwelle zehnmal abgelesen und hieraus das Mittel genommen. Um den Beobachter möglichst von äuſseren Einflüssen zu befreien, saſs er in einem durch schwarze Tücher völlig abgegrenzten und verdunkelten Raum, in den nur das Ocularende des Apparates hineinragte, und er erfuhr während des Verlaufs einer Beobachtungsreihe nicht das Resultat der von einem Gehülfen gemachten Ablesungen.

Als Einheit der Intensität $J$ wurde die Helligkeit festgesetzt, mit welcher einem durch ein Diaphragma von 1 qmm blickenden Auge eine mit Magnesiumoxyd überzogene Fläche erscheint[1], die in einem Abstand von 1 m durch eine ihr parallel stehende 0,1 qcm groſse Fläche von schmelzendem Platin senkrecht bestrahlt wird.[2] Die directe experimentelle Vergleichung geschah, indem bei der Wellenlänge 605 $\mu\mu$ die Spaltbreite bestimmt wurde, welche zur Herstellung einer etwa 200 solcher Einheiten enthaltenden Helligkeit auf der durch das erwähnte kleine astronomische Fernrohr betrachteten Fläche des unteren Rechteckes erforderlich ist. Diese ziemlich hohe Helligkeit wurde gewählt, damit hierbei das später ausführlicher erwähnte PURKINJEsche Phaenomen keine Fehlerquelle mehr bilden konnte. Die geringe Abweichung (nur etwa 2°/oo) des Mittelwerthes der von beiden Beobachtern gemachten Bestimmungen war zwar vielleicht ein glücklicher Zufall, gewährt aber doch einige Gewähr für die Berechtigung solcher Helligkeitsschätzungen verschieden gefärbter Felder. Später zu erwähnende Helligkeitsbestimmungen, welche Herr BRODHUN für die beiden Farbensysteme in dem Interferenzspectrum desselben auch hier benutzten Gasbrenners gemacht hatte, ermöglichten mit Benutzung der experimentell ermittelten Dispersionsverhältnisse in dem Flüssigkeitsprisma eine Berechnung der zur Herstellung derselben Helligkeitseinheit an den übrigen in Betracht kommenden Spectralregionen erforderlichen Spaltbreiten.

[1] Vergl. A. KÖNIG, *Gräfes Archiv* Bd. 30 (2) S. 161. 1884 und *Wied. Ann.* Bd. 22. S. 572. 1884.

[2] Diese Beleuchtung entspricht etwa der von 1,5 englischen Normalkerzen aus gleicher Entfernung.

Die Reihenfolge der Intensitäten $J$, welche bei jeder Spectralfarbe hergestellt rde, war nach aufwärts 1, 2, 5, 10, 20 u. s. w., nach abwärts 0.5, 0.2, 0.1, 05 u. s. w., wobei um immer eine möglichst gleiche Reinheit des Spectrum zu een und von der Ungenauigkeit der Mikrometerschraube des Spaltes $S_1$ thunlichst abhängig zu sein, Rauchgläser von genau bestimmten Absorptionscoefficienten ischen dem Spalte $S_1$ und der Linse $L_1$ eingeschaltet wurden und der Spalt $S_1$ r soviel geändert wurde, als zur genauen Herstellung der genannten Stufenfolge r Intensitäten erforderlich war.

Bei der höchsten durch den Gasbrenner erreichbaren Intensität wurde dann ı kleines schmales an dem Spalte $S_2$ angebrachtes totalreflectirendes Prisma mit ectrallicht derselben Wellenlänge, welches durch ein anderes seitwärts aufgestelltes isma erzeugt war, so hell erleuchtet, dass seine ebenfalls durch dasselbe Ocular trachtete Fläche mit dem eigentlichen Beobachtungsfelde gleich hell erschien. un wurde der Gas-Triplexbrenner durch das Zirconlicht ersetzt und dieses zunächst rch Absorptionsgläser und Änderung des Spaltes $S_1$ so abgeschwächt, daſs das obachtungsfeld wieder gleich dem inzwischen constant erhaltenen Vergleichsfelde r. Durch Wegnahme der Absorptionsgläser u. s. w. wurden dann die höheren erthe von $J$ hergestellt.

### Werthe der Unterschiedsschwellen.

Die nachfolgenden Tabellen enthalten die von den genannten Beobachtern bei der estimmung der Unterschiedsschwellen in den benutzten sechs Spectralregionen erlangten sultate. Die Überschrift gibt die Wellenlänge und den Beobachter an. Die besonderen berschriften der einzelnen Columnen benutzen die auf S. 404 eingeführten Bezeichnungen.

Die oberen Grenzen der Beobachtungsreihen sind gegeben durch die höchst ögliche Leistung des Zirconlichtes; die unteren Grenzen schlieſsen unmittelbar an ie noch zu besprechenden unteren Reizschwellen an.

670 $\mu\mu$

K.

| $J = r + \delta r$ | $\alpha$ | $r = J \cos \alpha^2$ | $\delta r = J \sin \alpha^2$ | $\frac{\delta r}{r} = \mathrm{tg}\, \alpha^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 50000 | 8°20′ | 48950 | 1050 | 0.0215 |
| 20000 | 7 16 | 19680 | 320 | 0.0163 |
| 10000 | 7 10 | 9844 | 156 | 0.0158 |
| 5000 | 7 38 | 4912 | 88 | 0.0180 |
| 2000 | 7 24 | 1967 | 33 | 0.0169 |
| 1000 | 7 29 | 983 | 16.9 | 0.0172 |
| 500 | 8 10 | 490 | 10.1 | 0.0206 |
| 200 | 8 31 | 196 | 4.40 | 0.0224 |
| 100 | 9 50 | 97 1 | 2.92 | 0.0300 |
| 50 | 11 11 | 48.1 | 1.88 | 0.0391 |
| 20 | 12 10 | 19.1 | 0.89 | 0.0465 |
| 10 | 14 50 | 9.35 | 0.655 | 0.0701 |
| 5 | 17 38 | 4.54 | 0.459 | 0.101 |
| 2 | 24 27 | 1.66 | 0.343 | 0.207 |
| 1 | 30 31 | 0.742 | 0.258 | 0.347 |
| 0.5 | 37 50 | 0.312 | 0.188 | 0.603 |

B.

| $J = r + \delta r$ | $\alpha$ | $r = J \cos \alpha^2$ | $\delta r = J \sin \alpha^2$ | $\frac{\delta r}{r} = \mathrm{tg}\, \alpha^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 50000 | 8°33′ | 48895 | 1105 | 0 0226 |
| 20000 | 7 47 | 19634 | 367 | 0.0187 |
| 10000 | 7 19 | 9838 | 162 | 0.0165 |
| 5000 | 7 2 | 4925 | 74.9 | 0.0152 |
| 2000 | 7 25 | 1967 | 33.3 | 0.0169 |
| 1000 | 7 41 | 982 | 17.9 | 0.0182 |
| 500 | 8 22 | 489 | 10.6 | 0.0216 |
| 200 | 8 38 | 195 | 4.51 | 0.0230 |
| 100 | 9 21 | 97.4 | 2.64 | 0.0271 |
| 50 | 10 26 | 48.4 | 1.64 | 0.0339 |
| 20 | 11 44 | 19.2 | 0.827 | 0.0431 |
| 10 | 13 23 | 9 46 | 0.536 | 0.0566 |
| 5 | 16 41 | 4.59 | 0.412 | 0.0898 |
| 2 | 23 27 | 1.68 | 0.317 | 0.188 |
| 1 | 32 20 | 0.714 | 0.286 | 0.401 |
| 0.5 | 41 41 | 0.279 | 0.221 | 0.793 |

605 $\mu\mu$

K.

| $J = r + \delta r$ | $\alpha$ | $r = J\cos\alpha^2$ | $\delta r = J\sin\alpha^2$ | $\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg}\alpha^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 200000 | 11°55′ | 191500 | 8500 | 0.0445 |
| 100000 | 8 56 | 97590 | 2410 | 0.0247 |
| 50000 | 8 6 | 48900 | 1100 | 0.0203 |
| 20000 | 7 46 | 19635 | 365 | 0.0186 |
| 10000 | 7 21 | 9836 | 163 | 0.0166 |
| 5000 | 7 14 | 4921 | 79 | 0.0161 |
| 2000 | 7 43 | 1964 | 36 | 0.0184 |
| 1000 | 8 5 | 980 | 19.8 | 0.0202 |
| 500 | 8 25 | 489 | 10.7 | 0.0219 |
| 200 | 8 39 | 195 | 4.5 | 0.0231 |
| 100 | 9 36 | 97.2 | 2.78 | 0.0286 |
| 50 | 11 12 | 48.1 | 1.89 | 0.0392 |
| 20 | 12 25 | 19.1 | 0.92 | 0.0485 |
| 10 | 14 18 | 9.39 | 0.610 | 0.0650 |
| 5 | 18 44 | 4.48 | 0.516 | 0.115 |
| 2 | 23 23 | 1.68 | 0.315 | 0.187 |
| 1 | 27 25 | 0.788 | 0.212 | 0.269 |
| 0.5 | 31 45 | 0.362 | 0.138 | 0.383 |
| 0.2 | 35 13 | 0.133 | 0.0665 | 0.498 |

B.

| $J = r + \delta r$ | $\alpha$ | $r = J\cos\alpha^2$ | $\delta r = J\sin\alpha^2$ |
|---|---|---|---|
| 200000 | 13°10′ | 189620 | 10377 |
| 100000 | 10 30 | 96680 | 3321 |
| 50000 | 7 50 | 49070 | 929 |
| 20000 | 7 0 | 19703 | 297 |
| 10000 | 7 2 | 9850 | 150 |
| 5000 | 6 49 | 4918 | 70.4 |
| 2000 | 7 12 | 1969 | 31.4 |
| 1000 | 7 28 | 983 | 16.9 |
| 500 | 7 43 | 491 | 9.01 |
| 200 | 8 38 | 195 | 4.51 |
| 100 | 8 47 | 97.7 | 2.33 |
| 50 | 9 26 | 48.7 | 1.34 |
| 20 | 10 34 | 19.3 | 0.673 |
| 10 | 13 4 | 9.49 | 0.511 |
| 5 | 16 11 | 4.61 | 0.388 |
| 2 | 24 17 | 1.66 | 0.338 |
| 1 | 27 38 | 0.785 | 0.215 |
| 0.5 | 29 13 | 0.381 | 0.129 |
| 0.2 | 32 13 | 0.143 | 0.0568 |
| 0.1 | 37 47 | 0.0625 | 0.0375 |

575 $\mu\mu$

K.

| $J = r + \delta r$ | $\alpha$ | $r = J\cos\alpha^2$ | $\delta r = J\sin\alpha^2$ | $\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg}\alpha^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 100000 | 10°23′ | 96750 | 3250 | 0.0336 |
| 50000 | 9 16 | 48700 | 1300 | 0.0266 |
| 20000 | 8 14 | 19590 | 410 | 0.0209 |
| 10000 | 7 41 | 9821 | 179 | 0.0182 |
| 5000 | 7 25 | 4917 | 83.0 | 0.0169 |
| 2000 | 7 41 | 1964 | 36.0 | 0.0182 |
| 1000 | 7 49 | 981 | 18.5 | 0.0188 |
| 500 | 8 9 | 491 | 9.00 | 0.0205 |
| 200 | 8 40 | 195 | 4.50 | 0.0232 |
| 100 | 9 27 | 97.3 | 2.69 | 0.0277 |
| 50 | 10 19 | 48.4 | 1.61 | 0.0331 |
| 20 | 11 19 | 19.2 | 0.770 | 0.0400 |
| 10 | 13 58 | 9.42 | 0.582 | 0.0618 |
| 5 | 17 20 | 4.56 | 0.444 | 0.0974 |
| 2 | 21 41 | 1.73 | 0.273 | 0.158 |
| 1 | 24 20 | 0.830 | 0.170 | 0.204 |
| 0.5 | 27 12 | 0.395 | 0.104 | 0.264 |
| 0.2 | 31 8 | 0.146 | 0.0535 | 0.365 |
| 0.1 | 39 0 | 0.0604 | 0.0396 | 0.656 |

B.

| $J = r + \delta r$ | $\alpha$ | $r = J\cos\alpha^2$ | $\delta r = J\sin\alpha^2$ |
|---|---|---|---|
| 100000 | 11°22′ | 96120 | 3884 |
| 50000 | 8 35 | 48885 | 1114 |
| 20000 | 7 29 | 19706 | 339 |
| 10000 | 7 25 | 9833 | 167 |
| 5000 | 7 19 | 4919 | 81.1 |
| 2000 | 7 15 | 1968 | 31.9 |
| 1000 | 6 42 | 986 | 13.6 |
| 500 | 7 22 | 492 | 8.22 |
| 200 | 7 35 | 196 | 3.48 |
| 100 | 8 33 | 97.8 | 2.21 |
| 50 | 8 31 | 48.9 | 1.10 |
| 20 | 9 59 | 19.4 | 0.601 |
| 10 | 11 12 | 9.62 | 0.377 |
| 5 | 15 35 | 4.64 | 0.353 |
| 2 | 22 44 | 1.70 | 0.299 |
| 1 | 24 53 | 0.823 | 0.177 |
| 0.5 | 28 44 | 0.384 | 0.116 |
| 0.2 | 30 0 | 0.150 | 0.0500 |
| 0.1 | 36 36 | 0.0644 | 0.0355 |

505 $\mu\mu$

K.

| $\alpha$ | $r = J \cos \alpha^2$ | $\delta r = J \sin \alpha^2$ | $\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg} \alpha^2$ |
|---|---|---|---|
| 7°59′ | 19610 | 390 | 0.0197 |
| 7 44 | 9819 | 181 | 0.0184 |
| 7 17 | 4920 | 80.0 | 0.0163 |
| 7 37 | 1965 | 35.0 | 0.0179 |
| 7 48 | 982 | 18.4 | 0.0188 |
| 8 0 | 490 | 9.70 | 0.0197 |
| 8 29 | 196 | 4.40 | 0.0222 |
| 8 59 | 97.6 | 2.44 | 0.0250 |
| 9 8 | 48.7 | 1.26 | 0.0258 |
| 9 55 | 19.4 | 0.59 | 0.0306 |
| 10 58 | 9.64 | 0.362 | 0.0375 |
| 12 46 | 4.76 | 0.244 | 0.0513 |
| 14 50 | 1.87 | 0.131 | 0.0701 |
| 16 28 | 0.920 | 0.0804 | 0.0874 |
| 17 33 | 0.454 | 0.0455 | 0.100 |
| 19 23 | 0.178 | 0.0220 | 0.124 |
| 21 26 | 0.0866 | 0.0133 | 0.154 |
| 25 21 | 0.0408 | 0.00917 | 0.224 |
| 30 5 | 0.0150 | 0.00503 | 0.336 |
| 31 23 | 0.00729 | 0.00271 | 0.372 |
| 34 34 | 0.00339 | 0.00161 | 0.475 |

B.

| $J = r + \delta r$ | $\alpha$ | $r = J \cos \alpha^2$ | $\delta r = J \sin \alpha^2$ | $\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg} \alpha^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 20000 | 7°17′ | 19678 | 322 | 0.0163 |
| 10000 | 6 52 | 9857 | 143 | 0.0145 |
| 5000 | 7 4 | 4924 | 75.5 | 0.0154 |
| 2000 | 7 2 | 1970 | 30.0 | 0.0152 |
| 1000 | 7 7 | 985 | 15.3 | 0.0156 |
| 500 | 7 0 | 493 | 8.42 | 0.0151 |
| 200 | 7 46 | 196 | 3.65 | 0.0186 |
| 100 | 7 57 | 98.1 | 1.91 | 0.0195 |
| 50 | 8 34 | 48.9 | 1 11 | 0.0227 |
| 20 | 8 45 | 19.5 | 0.462 | 0.0232 |
| 10 | 10 21 | 9.68 | 0.323 | 0.0333 |
| 5 | 11 40 | 4.80 | 0.204 | 0.0426 |
| 2 | 13 22 | 1.89 | 0.107 | 0.0565 |
| 1 | 17 1 | 0.914 | 0.086 | 0.0937 |
| 0.5 | 19 29 | 0.444 | 0.0556 | 0.125 |
| 0.2 | 21 32 | 0.173 | 0.0269 | 0.156 |
| 0.1 | 23 38 | 0.0839 | 0.0161 | 0.191 |
| 0.05 | 25 4 | 0.0410 | 0.00897 | 0.219 |
| 0.02 | 25 25 | 0.0163 | 0.00368 | 0.226 |
| 0.01 | 26 58 | 0.00794 | 0.00206 | 0.259 |
| 0.005 | 31 4 | 0.00367 | 0.00133 | 0.363 |

470 $\mu\mu$

K.

| $\alpha$ | $r = J \cos \alpha^2$ | $\delta r = J \sin \alpha^2$ | $\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg} \alpha^2$ |
|---|---|---|---|
| 7°41′ | 1964 | 36.0 | 0.0182 |
| 7 25 | 983 | 16.7 | 0.0169 |
| 7 47 | 491 | 9.20 | 0.0187 |
| 8 28 | 196 | 4.30 | 0.0221 |
| 8 38 | 97.7 | 2.25 | 0.0230 |
| 9 7 | 48.7 | 1.25 | 0.0257 |
| 10 16 | 19.4 | 0.64 | 0.0328 |
| 11 7 | 9.63 | 0 372 | 0.0386 |
| 12 26 | 4 77 | 0.232 | 0.0486 |
| 15 30 | 1.86 | 0.143 | 0 0769 |
| 17 16 | 0.912 | 0.0881 | 0.0966 |
| 18 3 | 0.452 | 0.0480 | 0.106 |
| 20 53 | 0.175 | 0.0254 | 0.146 |
| 21 47 | 0.0862 | 0 0138 | 0.160 |
| 23 59 | 0.0417 | 0.00826 | 0.198 |
| 27 12 | 0.0158 | 0 00418 | 0 264 |
| 32 33 | 0.00710 | 0.00189 | 0.407 |
| 33 14 | 0.00350 | 0.00150 | 0.429 |

B.

| $J = r + \delta r$ | $\alpha$ | $r = J \cos \alpha^2$ | $\delta r = J \sin \alpha^2$ | $\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg} \alpha^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 2000 | 6°50′ | 1972 | 28 4 | 0.0144 |
| 1000 | 6 40 | 986 | 13.5 | 0.0137 |
| 500 | 7 23 | 492 | 8.25 | 0.0168 |
| 200 | 7 52 | 196 | 3.75 | 0.0191 |
| 100 | 8 7 | 98.0 | 1.99 | 0.0203 |
| 50 | 9 19 | 48.7 | 1.31 | 0.0269 |
| 20 | 10 15 | 19.4 | 0.734 | 0.0327 |
| 10 | 11 17 | 9 62 | 0.383 | 0.0398 |
| 5 | 11 49 | 4 79 | 0.209 | 0.0438 |
| 2 | 12 40 | 1 90 | 0.0962 | 0.0505 |
| 1 | 14 49 | 0.935 | 0.0654 | 0.0700 |
| 0.5 | 16 28 | 0.460 | 0.0402 | 0.0874 |
| 0.2 | 19 42 | 0.177 | 0.0227 | 0 128 |
| 0 1 | 21 7 | 0.0870 | 0.0130 | 0.149 |
| 0.05 | 23 36 | 0 0420 | 0.00801 | 0 191 |
| 0.02 | 25 41 | 0.0162 | 0 00376 | 0.231 |
| 0.01 | 28 53 | 0 00767 | 0.00233 | 0.304 |
| 0.005 | 32 4 | 0 00359 | 0.00141 | 0.392 |

## K. 430 $\mu\mu$ B.

**K.**

| $J = r + \delta r$ | $\alpha$ | $r = J \cos \alpha^2$ | $\delta r = \sin J \alpha^2$ | $\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg} \alpha^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 1000 | 7°40′ | 982 | 17.8 | 0.0181 |
| 500 | 8 24 | 489 | 10.7 | 0.0218 |
| 200 | 8 58 | 195 | 4.90 | 0.0249 |
| 100 | 9 2 | 97.5 | 2.46 | 0.0253 |
| 50 | 9 29 | 48.6 | 1.36 | 0.0279 |
| 20 | 10 41 | 19.3 | 0.690 | 0.0356 |
| 10 | 11 29 | 9.60 | 0.396 | 0.0413 |
| 5 | 12 50 | 4.75 | 0.247 | 0.0519 |
| 2 | 14 10 | 1.88 | 0.120 | 0.0637 |
| 1 | 15 47 | 0.926 | 0.0740 | 0.0799 |
| 0.5 | 18 6 | 0.452 | 0.0483 | 0.107 |
| 0.2 | 19 58 | 0.177 | 0.0233 | 0.126 |
| 0.1 | 21 45 | 0.0863 | 0.0137 | 0.159 |
| 0.05 | 24 37 | 0.0423 | 0.00771 | 0.210 |
| 0.02 | 28 13 | 0.0155 | 0.00447 | 0.288 |
| 0.01 | 29 56 | 0.00751 | 0.00249 | 0.331 |
| 0.005 | 33 58 | 0.00344 | 0.00156 | 0.454 |
| 0.002 | 37 27 | 0.00126 | 0.000739 | 0.587 |

**B.**

| $J = r + \delta r$ | $\alpha$ | $r = J \cos \alpha^2$ | $\delta r = J \sin \alpha^2$ |
|---|---|---|---|
| 2000 | 7°14′ | 1968 | 31.8 |
| 1000 | 7 54 | 981 | 18.9 |
| 500 | 8 16 | 490 | 10.3 |
| 200 | 8 52 | 195 | 4.75 |
| 100 | 9 18 | 97.4 | 2.61 |
| 50 | 10 32 | 48.3 | 1.67 |
| 20 | 11 23 | 19.2 | 0.780 |
| 10 | 11 59 | 9.57 | 0.431 |
| 5 | 13 5 | 4.74 | 0.256 |
| 2 | 14 41 | 1.87 | 0.128 |
| 1 | 16 25 | 0.920 | 0.0799 |
| 0.5 | 17 34 | 0.454 | 0.0455 |
| 0.2 | 20 18 | 0.176 | 0.0241 |
| 0.1 | 22 3 | 0.0859 | 0.0141 |
| 0.05 | 24 10 | 0.0416 | 0.00838 |
| 0.02 | 26 25 | 0.0160 | 0.00396 |
| 0.01 | 27 8 | 0.00792 | 0.00208 |
| 0.005 | 30 34 | 0.00371 | 0.00129 |

In den folgenden Tabellen sind die von denselben Beobachtern e
Werthe der Unterschiedsschwellen für weisses Licht in derselben Anordnung au

## K. Weiss. B.

**K.**

| $J = r + \delta r$ | $\alpha$ | $r = J.\cos^2\alpha$ | $\delta r = J.\sin^2\alpha$ | $\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg}^2\alpha$ |
|---|---|---|---|---|
| 1000000 | 10°43′ | 965420 | 34580 | 0.0358 |
| 500000 | 9 23 | 436710 | 13290 | 0.0273 |
| 200000 | 9 17 | 194795 | 5205 | 0.0267 |
| 100000 | 7 57 | 98087 | 1913 | 0.0195 |
| 50000 | 7 30 | 49148 | 852 | 0.0173 |
| 20000 | 7 32 | 19656 | 344 | 0.0175 |
| 10000 | 7 33 | 9827 | 173 | 0.0176 |
| 5000 | 7 37 | 4912 | 87.7 | 0.0179 |
| 2000 | 7 40 | 1964 | 35.6 | 0.0181 |
| 1000 | 7 36 | 983 | 17.5 | 0.0178 |
| 500 | 7 53 | 491 | 9.41 | 0.0192 |
| 200 | 8 29 | 196 | 4.35 | 0.0222 |
| 100 | 9 48 | 97.1 | 2.90 | 0.0298 |
| 50 | 10 12 | 48.4 | 1.57 | 0.0324 |
| 20 | 11 15 | 19.2 | 0.761 | 0.0396 |
| 10 | 12 19 | 9.54 | 0.455 | 0.0477 |
| 5 | 13 41 | 4.72 | 0.280 | 0.0593 |
| 2 | 17 2 | 1.83 | 0.172 | 0.0939 |
| 1 | 19 20 | 0.890 | 0.110 | 0.123 |
| 0.5 | 23 28 | 0.421 | 0.0793 | 0.188 |
| 0.2 | 28 1 | 0.156 | 0.0441 | 0.283 |
| 0.1 | 31 32 | 0.0726 | 0.0274 | 0.377 |
| 0.05 | 34 50 | 0.0337 | 0.0163 | 0.484 |
| 0.02 | 39 49 | 0.0118 | 0.0082 | 0.695 |

**B.**

| $J = r + \delta r$ | $\alpha$ | $r = J.\cos^2\alpha$ | $\delta r = J.\sin^2$ |
|---|---|---|---|
| 1000000 | 11° 2′ | 963370 | 36630 |
| 500000 | 10 23 | 483760 | 16240 |
| 200000 | 9 47 | 194225 | 5775 |
| 100000 | 8 20 | 97900 | 2100 |
| 50000 | 7 55 | 49051 | 949 |
| 20000 | 7 7 | 19693 | 307 |
| 10000 | 7 16 | 9840 | 160 |
| 5000 | 7 10 | 4922 | 77.8 |
| 2000 | 7 39 | 1965 | 35.4 |
| 1000 | 7 45 | 982 | 18.2 |
| 500 | 8 27 | 489 | 10.8 |
| 200 | 8 30 | 196 | 4.37 |
| 100 | 8 35 | 97.8 | 2.23 |
| 50 | 9 20 | 48.7 | 1.32 |
| 20 | 10 20 | 19.4 | 0.643 |
| 10 | 12 4 | 9.56 | 0.437 |
| 5 | 13 0 | 4.75 | 0.253 |
| 2 | 16 48 | 1.83 | 0.167 |
| 1 | 18 49 | 0.896 | 0.104 |
| 0.5 | 22 8 | 0.429 | 0.0710 |
| 0.2 | 26 8 | 0.161 | 0.0385 |
| 0.1 | 29 55 | 0.0751 | 0.0249 |
| 0.05 | 35 8 | 0.0334 | 0.0166 |
| 0.02 | 39 4 | 0.0121 | 0.0079 |

ch einer Theorie des Einflusses der fleckige
igenlichts der Netzhaut auf die Gröfse der
schwellen.

s sei $\alpha$ die objective Lichtstärke, welche nöthig wä der Erregung in einem Flächenstück der Netzhaut herv Eigenlicht derselben sich zu erkennen giebt. Da da nt, wird $\alpha$ auf verschiedenen Stellen der Netzhaut vers müssen. Der Flächenraum derjenigen dieser Membr cht dem Intervall $\alpha$ bis $(\alpha + d\alpha)$ entspricht, sei $\varphi . d\alpha$, worin einen eine Function von $\alpha$ sein wird.

ir wollen zunächst Bezeichnungen einführen für zwei er höchste vorkommende Werth von $\alpha$. Wir setzen

$$\int_0^a \varphi . d\alpha = A \; \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

das offenbar der Werth des Flächenstücks der Netzhaut, auf sere Rechnung bezieht. Wir setzen ferner

$$\int_0^a \varphi . \alpha . d\alpha = A . J \; \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

öfse $J$ bezeichnet hiernach den mittleren Werth, den die Intensität $\alpha$ ganze Ausdehnung der Fläche A hat.

e Empfindungsstärke $dE$ für den Helligkeitsunterschied $dr$ bei der objectiven rke $r$ betrachten wir als Summe aller Einzelwirkungen, die den einzelnen eitsstufen $d\alpha$ entsprechen, und setzen nach FECHNER's Gesetz

$$dE = dr . \int_0^a \frac{\varphi . d\alpha}{\alpha + r} \; \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \Big\} \; 2$$

se Integration auszuführen, führen wir statt $\alpha$ eine neue Variable $\varepsilon$ ein vir setzen

$$\alpha = J + \varepsilon$$

on $o$ bis $a$ steigen kann, kann $\varepsilon$ von $(-J)$ bis $(a-J)$ steigen. Indem wir Werth von $\alpha$ in die Function $\varphi$ einsetzen, stellen wir diese als Function lar.

ir schreiben dem entsprechend die Gleichung 2)

$$dE = dr \int_{-J}^{a-J} \frac{\varphi . d\varepsilon}{J + r + \varepsilon} \; \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \Big\} \; 2a$$

die Grenzen der Integration immer dieselben bleiben, wollen wir sie nicht zeichnen.

n ist identisch

$$\frac{1}{J+r+\varepsilon} = \frac{1}{J+r} - \frac{\varepsilon}{(J+r)^2} + \frac{\varepsilon^2}{(J+r)^2 . (J+r+\varepsilon)}$$

was leicht zu verificiren ist. Wenn wir dies einsetzen in die Gleichung 2a. erhalten

$$dE = \frac{dr}{J+r}\int \varphi \,.\, d\varepsilon - \frac{dr}{(J+r)^2}\int \varphi \,.\, \varepsilon \,.\, d\varepsilon + \frac{dr}{(J+r)^2}\int \frac{\varphi \,.\, \varepsilon^2 \,.\, d\varepsilon}{J+r+\varepsilon} \quad \ldots \Big\}$$

Das erste Integral ist dasselbe wie das der Gleichung 1 und hat also Werth A. Das zweite

$$\int \varphi \,.\, \varepsilon \,.\, d\varepsilon = \int \varphi \,.\, (\alpha - J) \,.\, d\alpha$$

Das wird mit Berücksichtigung von (1) und (1a)

$$\int \varphi \,.\, \varepsilon \,.\, d\varepsilon = JA - J \,.\, A = 0.$$

Der ganze Werth von $dE$ reducirt sich also auf folgenden Ausdruck:

$$dE = A\frac{dr}{J+r} + \frac{dr}{(J+r)^2} \,.\, \int \frac{\varphi \,.\, \varepsilon^2 \,.\, d\varepsilon}{J+r+\varepsilon} \quad \ldots\ldots\ldots \Big\} \; 2$$

$$= \frac{A \,.\, dr}{J+r} + \frac{dr}{(J+r)^2}\int \frac{\varphi\,(\alpha - J)^2 \,.\, d\alpha}{\alpha + r}$$

Da in dem letzteren Integrale alle Factoren in Nenner und Zähler nothwend positiv sind, so ist der Werth des Integrals jedenfalls positiv. Dieser zweite Summan im Werthe von $dE$ verschwindet bei großen Werthen von $r$ gegen den erste welcher dem FECHNERschen Gesetze bei gleichmäßiger Intensität $J$ des Eigenlich entspricht. Für kleine objective Lichtstärken $r$ dagegen vergrößert das zweite Gli den Werth von $dE$ in merklicher Weise, d. h. die Wahrnehmung des Unterschie $dr$ wird deutlicher, als sie nach dem FECHNERschen Gesetz für die Intensität d Eigenlichts $J$ sein sollte, und der Schwellenwerth $dr$ kann also kleiner gemac werden, ohne ununterscheidbar zu werden.

Das in (2c) noch vorkommende Integral hat dieselbe Form wie das in (2 enthaltene, mit dem einzigen Unterschiede, daß die zusammengesetztere Function

$$\varphi \,.\, \varepsilon^2 \,.\, d\varepsilon = \varphi\,(\alpha - J)^2 \,.\, d\alpha$$

unter dem Integralzeichen an Stelle von $\varphi \,.\, d\varepsilon$ getreten ist. Man kann das ne Integral gerade wie das frühere behandeln, indem man setzt

$$\int \varphi \,.\, (\alpha - J)^2 \,.\, d\alpha = A_2$$

$$\int \varphi \,.\, (\alpha - J)^2 \,.\, \alpha \,.\, d\alpha = A_2 J_2 \,.$$

worin $J_2$ wiederum den Mittelwerth der Function $\alpha$ über die ganze Fläche genomm aber für eine andre Vertheilung der Werthe, wie sie durch $\varphi\ (\alpha - J)^2$ gegeben i bezeichnet. Dabei werden die mittleren Werthe einflußlos, da für sie

$$\alpha - J = 0.$$

So erhält man

$$dE = \frac{A \,.\, dr}{J+r} + \frac{A_2\, dr}{(J+r)^2 \,.\, (J_2 + r)} + \frac{dr}{(J+r)^2\,(J_2+r)^2}\int \frac{\varphi \,.\, (\alpha - J)^2 (\alpha - J_2)^2 \,.}{\alpha + r}$$

Auch das neue Integral ist nothwendig positiv. Man kann so weiter geh und es läßt sich auch zeigen, daß die entstehende unendliche Reihe converg

sein mufs selbst für kleine Werthe von $r$. Dafs sie für gröfsere Werthe von $r$ schnell convergiren mufs, ist leicht ersichtlich. Da die Reihe der verschiedenen $A$ und $J$ durch lauter positive Integrale gegeben wird, müssen sie auch alle positiv sein.

Bei dem bisher gewonnenen Material von Thatsachen wird es genügen, dafs wir uns auf die ersten zwei Glieder dieser Reihe beschränken, um zu zeigen, in welchem Sinne die gemachten Annahmen das einfache FECHNERsche Gesetz verändern. Setzen wir also

$$dE = dr \cdot \left\{ \frac{A}{J+r} + \frac{A_2}{(J+r)^2 (J_2+r)} \right\},$$

so ergiebt dies

$$\left.\begin{aligned} \frac{dr}{dE} &= (J+r)\left[\frac{(J+r)(J_2+r)}{A(J+r)(J_2+r)+A_2}\right] \\ &= \frac{J+r}{A}\left[1 - \frac{A_2}{A(J+r)(J_2+r)+A_2}\right] \\ &= \frac{J+r}{A} - \frac{A_2}{A^2(J_2+r)+\frac{A_2 A}{J+r}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} 2f$$

Im Nenner des zweiten Gliedes, welches an sich schon klein ist, wird sich das Glied mit $r$ im Nenner für nicht zu kleine $r$ ebenfalls vernachlässigen lassen. Dann bleibt nur stehen

$$\frac{dr}{dE} = y = \frac{J+r}{A} - \frac{A_2}{A^2(J_2+r)}.$$

Betrachten wir hierin $r$ und $y$ als rechtwinkelige Coordinaten, so ist dies die Gleichung einer Hyperbel, deren eine Asymptote der y Axe parallel, von dieser um $J_2$ nach der negativen Seite hin abstehend, verlaufen würde. In Fig. 162 ist diese theoretische Curve dargestellt. O ist der Anfangspunkt der Coordinaten, längs der horizontalen Axe OR sind die Werthe der $r$ aufgetragen, senkrecht dazu die Werthe der $y$, welche den Unterschiedsschwellen proportional sind, hier aber vergröfserten Maafsstab haben, um die Zeichnung deutlicher zu halten. AB und CC sind die beiden Asymptoten der Hyperbel, deren über OR liegendes Stück den den Beobachtungen entsprechenden Theil der Curve darstellen würde. Indessen stellt die Hyperbel, wie oben bemerkt, nur eine abgekürzte Art der theoretischen Formel dar. In der That würde die vollständigere Formel eine etwas niedere Führung der Curve dicht bei O bedingen, und in der That lassen auch die Beobachtungen eine Abweichung in diesem Sinne erkennen. Doch ist hier in dem Gebiete der schwachen Lichtstärken die Genauigkeit der Beobachtungen wohl kaum zureichend, um noch ein weiteres

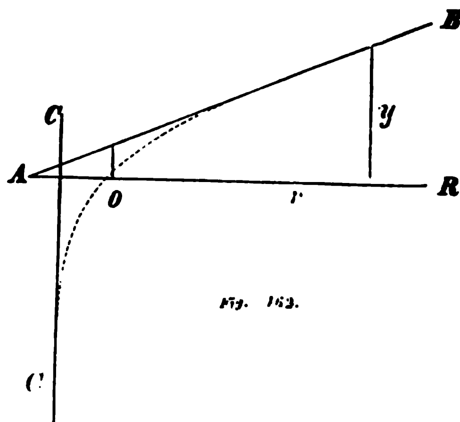


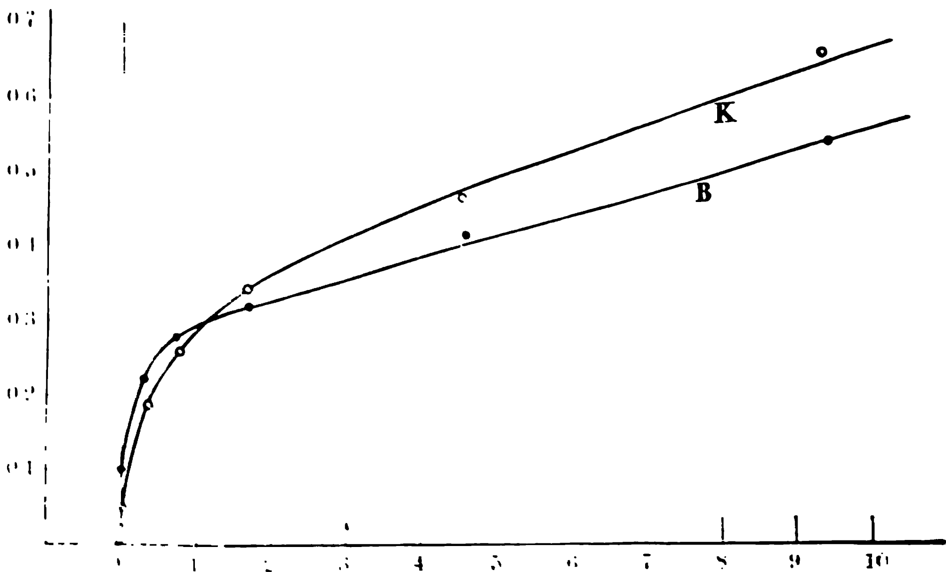
Fig. 162.

Glied der Formel zu bestimmen. Die Versuche zeigen aufserdem, dafs hier Abweichungen zwischen den verschiedenen Farben bestehen, und wahrscheinlich wird aufserdem hier das Gesetz durch Mischung verschiedener Grundfarben noch verwickelter.

Die Lage der Asymptote AB indessen scheint nach den genannten Beobachtern für alle Farben ziemlich dieselbe zu sein, während die Lage der zweiten Asymptote und der Abstand des Scheitels der Hyperbel vom Scheitelpunkt der Asymptoten (d. h. Mittelpunkt der Hyperbel) variiren würden, so weit eben die Hyperbeln überhaupt einen annähernden Ausdruck für den Gang der Function zu geben vermögen.

Ich gebe hier noch in Fig. 163 die nach den Beobachtungen von den genannten Beobachtern construirten Curvenformen für das spectrale Roth (Wellenlänge 670 $\mu\mu$), wobei die Ordinaten im zehnfachen Maafsstabe der Abscissen aufgetragen sind. Die Curve K gilt für das trichromatische Auge des Herrn A. Koenig, B für das dichromatische Auge des Herrn E. Brodhun. Die Punkte und kleinen Kreise entsprechen den wirklich ausgeführten Beobachtungen. Die Ähnlichkeit mit hyperbolischen Bögen ist augenfällig, namentlich in der Curve B. Aber man würde geneigt sein die zweite Asymptote der Curve nicht gerade abwärts, sondern schräg geneigt zu ziehen.

Abweichend von der Deutung, welche die genannten Beobachter ihren Curven gegeben haben, würde nach den unsrer Formel zu Grunde gelegten Voraussetzungen die mittlere Stärke des Eigenlichts der Strecke AO (*Fig. 162*) entsprechen, welche nach der Rechnung gegen 50 der photometrischen Einheiten betragen würde, nach denen die Beobachter gerechnet haben. Dafs die Strecke, die sie als Stärke des Eigenlichts deuten, verhältnifsmäfsig zu klein ist, selbst im Vergleich zu den Flecken des Eigenlichts, ist für meine Augen unzweifelhaft. Es wäre noch erst zu ermitteln, ob etwa das Lebensalter hierin grofse Verschiedenheiten bedingt. Ich selbst kann keinen gröfseren Einflufs des Lichtstaubs auf meine Sehschärfe erkennen, als ich seit jeher gekannt habe.



## Abweichungen für hohe Lichtstärken.

Die Abweichungen von FECHNERS Gesetz, die für hohe Werthe $r$ entstehen, können wir in der Formel ausdrücken, indem wir .. größten Gliede der Gleichung ($2f$) noch einen mit $r$ steigenden Factor im hinzusetzen, wie ich dies schon in der ersten Ausgabe dieses Buchs gethan. wir also:

$$dE = \frac{A \,.\, dr}{(J+r)\,(1+\varepsilon r)} + \frac{A_2 \,.\, dr}{(J+r)^2\,(J_2+r)} \cdot \ldots\ldots$$

Darin soll $\varepsilon$ eine verhältnißmäßig kleine Größe sein, welche für alle gleichen Werth zu haben scheint, so weit bisher die messenden Beoba reichen. Da die letzteren nur für die schwächeren Grade der Blendung a ind, indem bei höheren Graden der Zustand des Auges zu schnell sich ä läßt sich in der mathematischen Formulirung höchstens ein Correctionsglied as die kleinen Abweichungen der Beobachtungen einigermaßen richtig da

Ich gebe in der folgenden Tabelle einen Vergleich der Ergebnisse dieser Form en auf spectrales Roth bezüglichen Beobachtungen von Herrn A. KOENIG.[1]

| Höhere Lichtstärke $(r+dr)$ | Unterschiedsschwelle $dr$ für Roth von der Wellenlänge 670 $\mu\mu$ | | Mittelwerthe für 6 beobachtete Farben | Maaß der Klarheit $\frac{r}{dr}$ |
|---|---|---|---|---|
| | beobachtet | berechnet | | |
| 200000 | | 7158,2 | 8500 | 27,94 |
| 100000 | | 2684 | 2830 | 37,26 |
| 50000 | 1050 | 1080 | 1150 | 46,30 |
| 20000 | 320 | 370 | 371,2 | 54,05 |
| 10000 | 156 | 175 | 169,75 | 57,14 |
| 5000 | 88 | 85,4 | 82,5 | 58,55 |
| 2000 | 33 | 33,8 | 36,5 | 59,17 |
| 1000 | 16,9 | 17,6 | 18,02 | 56,82 |
| 500 | 10,1 | 9,30 | 9,57 | 53,76 |
| 200 | 4,40 | 4,36 | 4,50 | 45,87 |
| 100 | 2,92 | 2,64 | 2,59 | 37,88 |
| 50 | 1,88 | 1,69 | | 29,59 |
| 20 | 0,89 | 0,98 | | 20,41 |
| 10 | 0,655 | 0,656 | | 15,25 |
| 5 | 0,459 | 0,457 | | 10,94 |
| 2 | 0,343 | 0,316 | | 6,329 |
| 1 | 0,258 | 0,255 | | 3,921 |
| 0,5 | 0,188 | 0,240 | | 2,083 |
| 0,06 | 0,060 | 0,217 | | 1,000 |

[1] A. KÖNIG und E. BRODHUN. *Sitzungs Ber. d. Akad. zu Berlin.* 1888. 26. Juli. S. 922.

der Rechnung ist $A = 60,8825$ der Einheiten der Lichtstärke $r$ gesetzt, $J = 74,3933$, $J_2 = 25$, ferner $A_2 = 2,5119$. $A$ und $\frac{1}{\epsilon} = 150000$. Um ein Maafs für die relative Präcision der Beobachtungen zu geben, die bei Bestimmungen der kleinsten wahrnehmbaren Unterschiede sich nie sehr weit treiben läfst, habe ich in der vorletzten Columne für die gröfseren Lichtstärken, bei denen die verschiedenen Farben nach dem Urtheil der beiden Beobachter keine regelmäfsigen Differenzen der Unterschiedsschwellen zeigen, noch die Mittel der Werthe für die sechs durchgemessenen Farben hingesetzt. Die unterste Reihe der Tabelle bezieht sich auf die Reizschwelle. Hier ist eine gröfsere Abweichung vorhanden; aber auch die Abweichung der darüber stehenden Zahl ist vielleicht nicht zufällig, sondern durch die Vernachlässigung der kleineren Glieder unserer Reihe bedingt.

Die letzte Columne giebt aus den nach der Formel berechneten Werthen das Maafs der Klarheit nach der oben gegebenen Definition dieses Begriffs.

In der letzten Columne zeigt sich das Maximum der Klarheit bei der Lichtstärke 2000, aber von 500 bis 20000 weicht es höchstens um ein Zehntel von diesem Maximum ab; also innerhalb eines Gebiets dessen obere Grenze die untere 40 mal an Lichtstärke übertrifft.

Bei dieser Lage des Maximum hat das mit $A_2$ multiplicirte Glied der Formel 3 kaum noch Einflufs, und man kann die Lage des Maximum allein aus dem ersten Gliede bestimmen. Nach der Definition ergiebt sich der Werth der Klarheit $K$

$$K = \frac{r}{dr} = \frac{Ar}{(J + r)(1 + \epsilon r)} = \frac{A}{1 - \epsilon J}\left[\frac{1}{1 + \epsilon r} - \frac{J}{J + r}\right]$$

Um das Maximum zu bestimmen, müssen wir den Differentialquotienten von $K$ nach $r$ gleich Null setzen.

$$0 = \frac{dK}{dr} = \frac{A}{1 - \epsilon J}\left[\frac{J}{(J + r)^2} - \frac{\epsilon}{(1 + \epsilon r)^2}\right]$$

Dies giebt das Maximum für

$$r = \sqrt{\frac{J}{\epsilon}}$$

Dieser Rechnung nach würde das Maximum der oben berechneten Reihe bei $r = 3022$ liegen und den Werth 59,50 haben. Der Werth der Empfindlichkeit ist hier merklich kleiner als man bei anderen Vergleichsmethoden erreicht zu haben glaubte, vielleicht weil die Felder nicht sehr grofs waren.

Die Messungen der Unterschiedsschwellen für weifses Licht welche von denselben Beobachtern ausgeführt wurden[1] und oben schon angeführt sind, ergaben ganz entsprechende Resultate, so dafs die Messungen für Weifs in den

[1] A. König und E. Brodhun, Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel. Zweite Mittheilung. *Sitzungsberichte der Akademie zu Berlin* 1889. 27. Juni.

n Graden der Lichtstärke denselben Gang einhielten, wie für
diese übereinstimmende Unterschiedsschwellen gaben, für
htungen dagegen zwischen die Werthe der rothgelben
hineinfielen. Da Herrn BRODHUN das Blaugrün weifs erscheint, so
so kein wesentlicher Unterschied in dem Verhalten dieses einfachen
das zusammengesetzte Weifs.

Die unteren Reizschwellen geben diejenigen Beleuchtungsstär
elche eintreten müssen um überhaupt das Vorhandensein einer ob
Beleuchtung im Vergleich mit dem ganz dunklen Grunde des
Feldes zu erkennen. Ich bemerke hier sogleich, dafs dabei die
Ausdehnung des beleuchteten Feldes einen sehr erheblichen
, worüber wir unten noch weiter handeln werden, dafs auch
n der Objecte, namentlich solche, welche der Beobachter mit e
willkürlich hervorbringt, kleinere Unterschiede der Beleuchtung erke
n, als sie bei ruhendem Objecte erfordert werden. Man kann zuw
Nachts in einem ganz verdunkelten Schlafzimmer, wo von ruhende
nichts mehr zu erkennen ist, nicht einmal Spalten der Fenstervor
welche Sternenlicht eindringen könnte, sondern scheinbar nur der
des dunklen Gesichtsfeldes erscheint, noch zuweilen Bewegungen der
eobachters oder des mit einem weifsen Hemd bekleideten Arms erken
ich durch Schlufs der Augenlider doch überzeugen, dafs es sich nicht
n blos subjectives Phänomen handelt. Doch ist zu bemerken, dafs
entlich auch Täuschungen der letzteren Art vorkommen, wenn man dem
gten Gliede unwillkürlich mit den Augen folgt, und zufällig Flecken des
lichts da sind, die eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Bilde des Objects
, und mit den Augen sich scheinbar im Raume fortbewegen und dem
n Objecte folgen.[1]

Die Angaben der Herren A. KÖNIG und E. BRODHUN beziehen sich auf
lben für die Unterschiedsschwellen gebrauchten Einheiten der Licht-
e und beleuchtete Felder der dort gebrauchten Ausdehnung. Sie sind
nde:

Untere Reizschwellen.

| λ | KÖNIG | BRODHUN |
|---|---|---|
| 670 μμ | 0,060 | 0,11 |
| 605 | 0,0056 | 0,011 |
| 575 | 0,0029 | 0,0055 |
| 505 | 0,00017 | 0,00035 |
| 470 | 0,00012 | 0,00013 |
| 430 | 0,00012 | 0,00014 |
| — | — | — |
| Weifs | 0,00072 | 0,00073 |

[1] H. v. HELMHOLTZ, die Störung der Wahrnehmung kleinster Helligkeitsunterschiede durch das
nlicht der Netzhaut. *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane.* Bd. I. S. 5. 1890.

Photometrie. Die hier besprochene Fähigkeit des Auges kleine Unterschiede der Lichtstärke im Gesichtsfelde zu erkennen ist nun die Grundlage für die messende Vergleichung verschiedener Lichtstärken von Flächen. Wir können hierbei absehen von allen Methoden, wobei Strahlungsintensitäten nicht durch ihre Wirkung auf die Netzhaut sondern durch andre physikalische oder chemische Wirkungen verglichen werden z. B. durch Wärmeentwicklung, durch Änderung des galvanischen Widerstandes von Selen, durch Photographie u. s. w. Diese gehören nicht in die physiologische Optik. Auf den bisher immer noch sehr schwierigen Gebrauch solcher andrer Methoden sind wir übrigens nur in dem Falle angewiesen, wo es sich um Verfolgung solcher Strahlen handelt, die das Auge gar nicht, oder nur sehr schwach afficiren, und also auch nicht in engerem Sinne als Licht bezeichnet werden können.

Für die sichtbaren Strahlen schliefsen wir aus der Gleichheit ihrer Wirkung auf beliebige Stellen der Netzhaut auf Gleichheit der objectiven Lichtstärke derselben. Genau kann eine solche Gleichheit nur für gleichfarbiges Licht vorhanden sein. Wir werden demgemäfs hier auch zunächst von der photometrischen Vergleichung gleichfarbigen Lichtes (isochromatische Photometrie) handeln und dann erst zu der Frage übergehen, in wie weit Vergleichungen der Helligkeit verschiedenfarbigen Lichtes (heterochromatische Photometrie) möglich sind.

Das Auge kann immer nur die Gleichheit zweier hellen Felder anerkennen, und nicht ohne weitere objective Hülfsmittel das Quantitätsverhältnifs verschieden grosser Lichtmengen bestimmen.

Wir brauchen also, wenn letzteres verlangt wird, noch ein optisches Verfahren, welches die Intensität des helleren Lichtes so weit und zwar in bekanntem Verhältnifs herabsetzt, bis beide zu vergleichenden Helligkeiten gleich geworden sind. Dazu können, je nach der Natur der Aufgabe, aufserordentlich verschiedene optische Methoden verwendet werden. Aber auch deren Discussion gehört wesentlich der rein physikalischen Optik an, so dafs eine kurze Aufzählung der gewöhnlich praktisch gebrauchten hier genügen wird.

1) Änderung der Beleuchtung durch Änderung der Entfernung zwischen Lichtquelle und Object. Dies ist die älteste Methode ausgehend von BOUGUER.[1] Sie stützt sich auf den Satz, dafs bei ungestörter Ausstrahlung des Lichts von einem leuchtenden Puncte in geradlinigen Strahlen die Helligkeit eines normal von den Lichtstrahlen getroffenen Flächenstücks umgekehrt dem Quadrat der Entfernung von dem leuchtenden Puncte proportional ist. LAMBERT[2] machte die Methode viel leichter und geschickter, indem er von zwei nicht ganz in derselben Richtung stehenden Lichtquellen dieselbe weifse Fläche nahehin senkrecht beleuchten liefs, vor diese einen verticalen Stab brachte, welcher zwei dicht neben einander liegende Schatten entwarf, und dann die stärkere Lichtquelle so weit entfernte, bis die beiden Schatten gleich hell waren. Diese Methode ist sehr viel

[1] PIERRE BOUGUER, *Essai d'optique sur la gradation de la lumière.* Paris 1729. 1760. Lateinische Übersetzung. Wien 1762.

[2] JOHANN HEINRICH LAMBERT. *Photometria s. de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae* AUG. VINDEL. 1760.

i sehr lange gebraucht worden. Es ist leicht zu sehen, dafs hierbei der eine hatten nur von der einen Lichtquelle, der andre von der andern Licht empfängt. s Schatten erscheinen sie nur, weil der umgebende Grund gleichzeitig von beiden ehtern beleuchtet wird, und deshalb heller erscheint. Dies ist übrigens ein nderniß für eine sehr feine und sichere Vergleichung der Helligkeit beider Schatten, durch die Nähe stärkeren Lichtes in grofser Ausdehnung die Pupille verengert l das Auge geblendet wird.

Bei der Anwendung derselben sind aufserdem gewisse Vorsichtsmafsregeln zu beten, wenn man genaue Resultate zu erhalten wünscht. Erstens mufs man dafür gen, dafs alles andre Licht ausgeschlossen sei, namentlich auch alles von den nden und andern Gegenständen reflectirte, welches die beiden zu vergleichenden chenstücke verschieden stark beleuchten könnte. Zweitens pafst die Regel vom gekehrten Quadrat der Entfernung streng nur für leuchtende Puncte, annähernd t für leuchtende Körper, deren Dimensionen im Vergleich zur Entfernung der uchteten Fläche verschwinden. Daraus folgt aber, dafs die Methode nur mit tnen auf kleine Lichtquellen von grofser Helligkeit angewendet werden kann, lche trotz ihrer geringen Ausdehnung doch viel Licht aussenden. (Geometrische trachtungen, die sich auf die Theorie dieser Beleuchtungen beziehen, siehe oben 206—215).

Hat von einem Puncte der letzteren aus gesehen der leuchtende Körper eine rkliche scheinbare Gröfse im Gesichtsfelde, so können auch nicht mehr alle rahlen desselben senkrecht die Fläche treffen. Man würde dann nur durch Inteation die Gesammtwirkung berechnen können, müfste zur Ausführung dieser echnung aber die Lichtstärke jedes Theils der Oberfläche des leuchtenden Körpers ler aber die jedes Flächenelements seiner perspektivischen Projection auf eine dem leuchteten Puncte concentrische Kugel kennen.

Für einfache geometrische Formen wie z. B. kreisrunde Scheiben, oder cylinrische gerade Drähte (Kohlenfäden in Glühlampen) läfst sich eine solche Rechnung weilen durchführen.

2) Eine andre wichtige Methode zur Verminderung der Helligkeit in bekanntem erhältnifs ist bei polarisirtem Lichte anwendbar. Geht Licht durch zwei linear olarisirende Apparate hinter einander z. B. durch doppeltbrechende Prismen oder urch NICOLsche Prismen, so ist die Intensität des austretenden Lichts dem Quadrat es Cosinus des Winkels, den die Hauptschnitte der beiden Polarisatoren mit einnder bilden, proportional. Dieses Verfahren ist unter Anderem schon erwähnt . 357 bei der Beschreibung des Farbenmischungsapparates für Spektralfarben und . 403 der Methode zur Bestimmung der Unterschiedsschwellen verschiedener Farben.

3) Schwächung des Lichts durch AUBERTs Episkotister. Letzterer besteht s einer schnell umlaufenden kreisrunden Doppelscheibe. Die beiden an einander elegten Scheiben, welche sie zusammensetzen, sind in eine gleiche Anzahl von gleich reiten Sectoren getheilt, die abwechselnd ausgeschnitten und stehen geblieben sind, ach Art der schon mehrfach erwähnten MAXWELLschen Farbenscheiben. Wenn 0 oder mehr helle und dunkle Sectoren in der Secunde das einfallende Lichtrahlenbündel durchschneiden, erscheinen die durch dasselbe gesehenen lichten bjecte dem Auge des Beschauers dauernd gleichmäfsig hell, aber ihre Helligkeit vermindert in dem Verhältnifs in dem die Winkelbreite je eines durchsichtigen ctors zu der Summe der Winkelbreiten eines hellen und eines undurchsichtigen ctors steht. Das Nähere über diese Methode im nächsten Paragraphen.

Wir kommen nun zu dem von den physiologischen Fähigkeiten des menschlichen Auges abhängigen Theile der photometrischen Methoden.

Aus dem, was oben über die Unterschiedsstufen der Helligkeit gesagt ist, erhellt zunächst, daſs man die kleinsten Bruchtheile der ganzen Lichtstärke nur bei derjenigen Helligkeit, die dem Maximum der Klarheit entspricht, wird wahrnehmen können. Diese wird also die gröſste Genauigkeit in der Vergleichung erreichen lassen; gröſsere oder geringere Helligkeit wird unvortheilhafter sein. Insonderheit sind ungeeignet eine Reihe älterer Methoden, bei denen man zu ermitteln suchte, welche Dicke einer absorbirenden Substanz man anwenden muſste, um das Licht ganz verschwinden zu machen, weil diese von dem sehr unsicheren Werthe der kleinsten Reizschwelle abhängen.

Eine fernere wesentliche Bedingung ist die, daſs die beiden Felder, deren Helligkeit verglichen werden soll, dicht an einander stoſsen, mit scharf accommodirbarer, scharfer Grenzlinie, die durch nichts andres Sichtbares als durch den Unterschied der Helligkeit bezeichnet sein darf. Jede noch so feine helle oder dunkle Linie, die die Grenze markirt, macht die Vergleichung weniger sicher.

Lamberts oben erwähnte Methode mit den zwei Schatten desselben Stabes entspricht dieser Forderung ziemlich gut. Wenn man den Stab in solcher Entfernung von dem weiſsen Schirm, diesem parallel, hält, daſs die zwei Schatten, welche die beiden Lichter entwerfen, sich gerade berühren, so schlieſsen sich die beiden Schattenfelder ziemlich gleichmäſsig an einander. Damit sie es aber vollständig thun, würden beide Lichtquellen vom Stabe aus gesehen ganz gleiche scheinbare Breite im Gesichtsfelde haben müssen, was selten zutreffen wird. Auch würden die beiden Schattengrenzen nicht ganz scharf gezeichnet sein, sondern durch Halbschatten in Hell übergehen. Ferner ist die helle Umgebung störend, deren Beleuchtung doppelt so stark, als die der beiden zu vergleichenden Schatten ist, weil sie das Auge etwas blendet.

Noch vollkommener wurde das Verschwinden der Grenzlinie durch R. Bunsens[1] Photometer erreicht. Ein Papierblatt, auf dem mit heiſsem Wachs oder Paraffin ein Fettfleck gemacht ist, wird von vorn und hinten beleuchtet. Der nicht gefettete Theil des Papiers wirft nahehin alles Licht, was an der vordern Seite darauf fällt, zurück, und läſst nur sehr kleine Mengen von der hintern Seite durchscheinen. Umgekehrt der Fettfleck. Bei einem gewissen Verhältniſs der Entfernungen beider Lichter wird der Fettfleck gerade so hell erscheinen, wie das ungefettete Papier, indem genau ebenso viel von dem hintern Lichte im Flecke nach vorn dringt, als vom vorderen Lichte verloren geht, während es seinen Weg nach hinten fortsetzt. Dann wird der Fleck unsichtbar. Bringt man das hintere Licht näher heran, so erscheint er heller als der Rest des Papiers, dunkler dagegen, wenn man dasselbe Licht entfernt. Das Verhältniſs, in welchem die beiden Beleuchtungen stehen müssen, um den Fettfleck unsichtbar zu machen, ergiebt sich, wenn man mit zwei gleichen Kerzen die Versuche anstellt, und das Verhältniſs ihrer Entfernungen vom Papier ermittelt, die den Fleck verschwinden machen. Zur Prüfung ihrer Gleichheit vertauscht man die beiden Kerzen und wiederholt die Messung.

Das Bunsensche Photometer ist viel gebraucht worden, namentlich für die technischen Lichtmessungen. Es findet aber bei demselben der nachtheilige Umstand statt, daſs der Fettfleck ein Gemisch beider Beleuchtungen zeigt, die verglichen werden sollen und nur der ungefettete Rand, wenn er ganz undurchsichtig ist, die

[1] Pogg. *Ann.* Bd. 63. S. 578.

Wirkung des vorderen Lichtes allein. Denn, wenn wir auch in dem letzteren günstigsten Falle mit $A$ die Helligkeit des von vorn beleuchteten dunkleren Randes bezeichnen, mit $a$ die geringere Helligkeit, welche der Fettfleck bei Beleuchtung von vorn vor dunklem Hintergrunde zeigt, mit $B$ aber seine Helligkeit, wenn er nur durch das hintere Licht beleuchtet ist; so ist der Unterschied beider Helligkeiten

$$A - (B + a) = (A - a) - B$$

Aber die beiden Helligkeiten $(A - a)$ und $B$, deren Unterschied wahrgenommen werden soll, sind beide noch gleichmäfsig überdeckt von der gemeinsamen Helligkeit $a$, wodurch die Wahrnehmung ihres Unterschieds erschwert wird.

Es ist leicht einzusehen, dafs man gröfsere Genauigkeit in der Vergleichung erreichen mufs, wenn das zweite Feld eine Helligkeit zeigt, die nur von der hinteren Lichtquelle abhängt. Diese Aufgabe liefs sich mittels des von den Herrn LUMMER und E. BRODHUN[1] construirten Photometers lösen, in welchem die totale Reflexion benutzt wird, um die beiden beleuchteten Flächen von einander zu scheiden.

Zur Erläuterung des von den genannten Autoren benutzten Princips gehen wir von der Fig. 164 aus. Es seien $l\,l$ und $\lambda\,\lambda$ diffus leuchtende Flächen, $A$ und $B$ sei eine derartige Combination zweier rechtwinkliger Glasprismen, dafs an gewissen Stellen ($pq$ und $hi$) der Hypotenusenfläche des Prismas $B$ das von $\lambda$ kommende Licht nach $O$ reflectirt wird, während es an den übrigen Stellen ($qh$) durch das Prisma hindurch nach $r$ geht. Das Umgekehrte soll bei den von $l$ ausgehenden Strahlen in Bezug auf die Hypotenusenfläche des Prismas $A$ stattfinden. Accommodirt ein bei $O$ befindliches Auge auf die Fläche $pqhi$, so erblickt es also den Theil $qh$ derselben mit dem Lichte von $l$, den Theil $pq$ und $hi$ mit dem Lichte von $\lambda$ erleuchtet. Bei einem gewissen Intensitätsverhältnifs der Felder $l$ und $\lambda$ wird $pqhi$ als eine vollständig gleichmäfsig helle Fläche erscheinen.

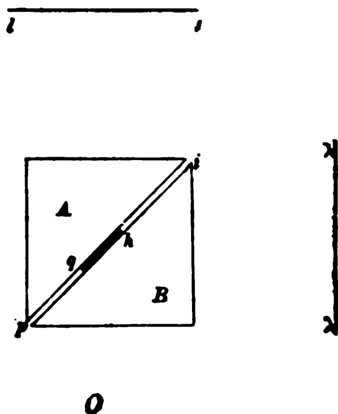


Fig. 164.

Geeignete Prismencombinationen lassen sich in folgender Weise herstellen:

1. Die beiden Prismen $A$ und $B$ sind bei $qh$ mittels einer Substanz vom Brechungsindex des Glases zusammengekittet, während bei $pq$ und $hi$ die Hypotenusenflächen durch Luft getrennt sind. Um die Grenze zwischen den beiden Feldern im Moment der Gleichheit zum Verschwinden zu bringen, ist es nothwendig $A$ und $B$ möglichst fest an einander zu pressen. Diese Combination bietet die Möglichkeit, auch von $r$ aus das Verschwinden zu beobachten, so dafs gleichzeitig zwei Personen einstellen können. Gleichheit der Felder findet hier statt, wenn $l$ und $\lambda$ dieselbe Intensität besitzen.

2. Die Hypotenusenfläche des Prismas $B$ wird versilbert und an der Stelle $qh$ die Silberschicht entfernt; hierauf werden die beiden Prismen mit geeignetem Kitt verbunden. Die Metallreflexion bewirkt, dafs die Gleichheit der Felder nur bei ungleicher Helligkeit von $l$ und $\lambda$ herbeigeführt wird. Durch Auskratzen der verschiedensten Figuren kann man die Gestalt der Felder variiren.

[1] O. LUMMER und E. BRODHUN, Photometrische Untersuchungen. *Zeitschrift für Instrumentenkunde.* 1889. S. 41.

3. Die Hypotenusenfläche des Prismas $A$ ist nicht eben, sondern kugelförmig geschliffen und an die ebene Hypotenusenfläche von $B$ angepreſst (*Fig. 165*). Bei genügend starkem Druck entsteht eine kreisrunde Berührungsfläche bei $m$; alle auf diese Fläche auftreffenden Strahlen gehen vollständig durch sie hindurch, welches auch ihr Einfallswinkel sein mag. Ist es der Winkel der totalen Reflexion, so sieht man bei Abblendung der Lichtquelle $l$ in der leuchtenden Hypotenusenfläche von $B$ einen schwarzen elliptischen Fleck mit allmälig heller werdendem Rande. Bei kleinerem Einfallswinkel lagern sich um diesen dunklen Fleck als Centrum die Newton-schen Interferenzringe.

*Fig. 165.*

Bei Anwendung stärker gekrümmter Kugelflächen wird der Rand des elliptischen Flecks zwar ausreichend scharf, aber gleichzeitig damit tritt eine solche Verkleinerung des Flecks ein, daſs die an demselben auftretende Beugungserscheinung das Phänomen stört.

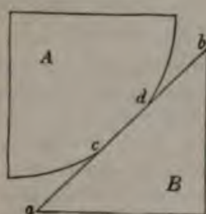


*Fig. 166.*

4. Die kugelförmige Oberfläche des Prismas $A$ wird bei $cd$ (*Fig. 166*) eben angeschliffen und gegen die gleichfalls ebene Hypotenusenfläche des Prismas $B$ gepreſst. Der in diesem Falle auftretende, elliptisch erscheinende Fleck hat durchaus scharfe Ränder und verschwindet bei Gleichheit der Felder vollständig. Diese Combination genügt sehr gut allen Anforderungen.

5. Die beiden Prismen werden auf ihrer ganzen Hypotenusenfläche gegen einander eben abgeschliffen. Dann wird irgend eine Zeichnung in die Fläche des Prisma $A$ eingeätzt und wiederum das Prismenpaar innig aneinander gepreſst. Wenn die Ätzung tief genug ist, so befindet sich an den geätzten Stellen Luft zwischen den Hypotenusenflächen, sodaſs die geätzte Figur im reflectirten Lichte hell auf schwarzem Grunde und im durchgehenden Lichte schwarz auf hellem Grunde erscheint. Der Vorzug dieser Methode ist, daſs hier den Figuren jede gewünschte Form gegeben werden kann.

Bei der Anwendung aller beschriebenen Prismencombinationen müssen zum vollständigen Verschwinden der Grenze zwischen den beiden Feldern die Flächen $l$ und $\lambda$ gleichmäſsig diffus leuchtend sein, also etwa beleuchtete Papiere, Milchglasplatten u. s. w. Ferner darf die Fläche $l$ nur Licht von der einen, $\lambda$ nur Licht von der andern der zu vergleichenden Flammen erhalten.

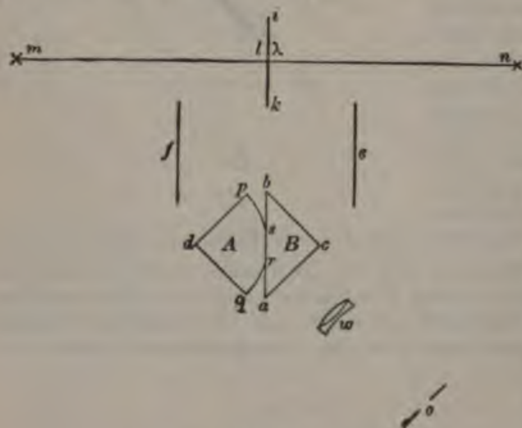


*Fig. 167.*

Es kam noch darauf an, unter Benutzung einer der angegebenen Prismencombinationen ein für die praktische Lichtmessung geeignetes Photometer herzustellen, welches also, ebenso wie das Bunsensche, auf einer geraden Photometerbank verschiebbar sein muſste. Die Autoren wählten die in *Fig. 167* skizzirte Anordnung. Lothrecht zur Axe der Photometerbank steht der Schirm $ik$, welcher gar kein Licht hindurch läſst und dessen beide Seiten von den Lichtquellen $m$ bezw. $n$ erleuchtet werden. Das diffuse, von den Schirmseiten $\lambda$ und $l$ ausgehende Licht fällt auf die Spiegel $e$ bezw. $f$, welche es senkrecht auf die Kathetenflächen $cb$ und $dp$ der Prismen $B$ und $A$ werfen. Der

Beobachter bei $o$ blickt durch die Lupe $w$ senkrecht zu $a\,c$ und stellt scharf auf die Fläche $a\,r\,s\,b$ ein.

*Figur 168* giebt eine perspectivische Ansicht des nach dieser Anordnung in der physikalisch technischen Reichsanstalt ausgeführten Photometers. Die vertikale messingene Säule $s$ trägt die Metallschiene $b$, auf welcher die Säulchen $s_1$ und $s_2$ aufgeschraubt sind. In den oberen Theilen der letzteren sitzen die Schrauben $m_1$ und $m_2$, in deren Enden konische Pfannen eingedreht sind. Diese Pfannen bilden das Lager für die horizontale Axe $a$ des Photometergehäuses $h$. Am Gehäuse ist bei $w$ das Rohr $r$ mit der verschiebbaren Lupe angebracht. Im Innern des Gehäuses liegen die Prismencombination $A\,B$, die beiden Spiegel, von welchen nur der eine $f$ zu sehen ist, und der Photometerschirm $P$. Letzterer sitzt im Rahmen $n_1$, dessen Fufsplatte auf dem Boden des Gehäuses $h$ verschiebbar und feststellbar ist; der Schirm kann behufs Erneuerung oder Drehung um 180 Grad aus dem Rahmen $n_1$ entfernt werden. Jeder der Spiegel $e$ und $f$ ist mit Hülfe

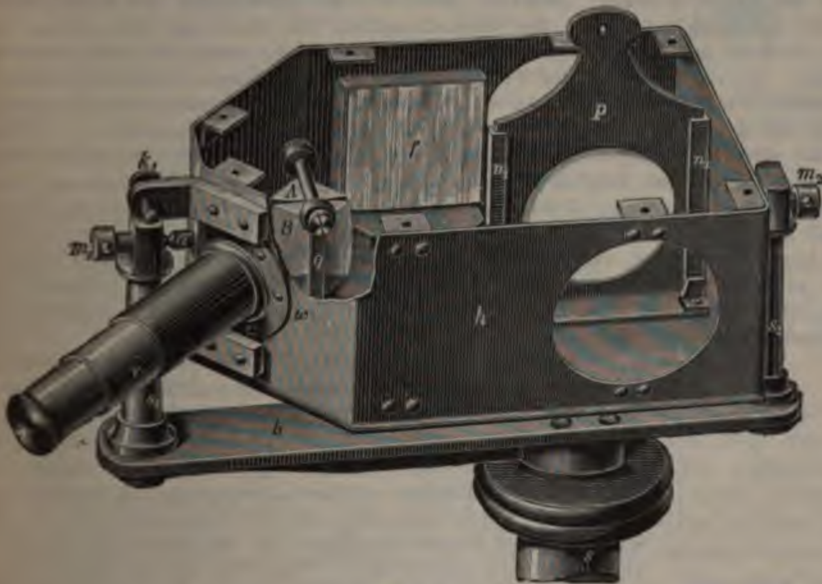



*Fig. 168.*

je zweier durch den Boden von $h$ hindurchreichender Schrauben von aufsen her um eine horizontale sowie um eine verticale Axe drehbar. Die Fassung $q$ prefst die Prismen $A$ und $B$ innig aneinander und ruht auf einer Platte, welche in gleicher Weise beweglich ist wie der Rahmen $n_1$. Das Gehäuse $h$ wird durch einen in der Figur abgenommenen Deckel mit Schlitz für den Griff des Schirmes $P$ geschlossen. Durch die seitlichen Öffnungen kann Licht zum Papier von $P$ gelangen. Bei der dargestellten Lage des Photometergehäuses wird ein als Anschlag dienender, in *Fig. 168* nicht sichtbarer Schraubenkopf $k_2$ durch eine an der Säule $s_1$ verschiebbare Hülse fest an die Säule angedrückt. Nach Drehung der Axe des Gehäuses um 180 Grad dient ein zweiter Schraubenkopf $k_1$ als Anschlag. Die auf einem Schlitten der Photometerbank angebrachte Säule $s$ kann auf und ab bewegt und um eine vertikale Axe gedreht werden.

Der zu den Versuchen benutzte Schirm bestand aus doppelten Lagen Papier, welche durch ein Stanniolblatt getrennt sind. Man taucht das Papier in Wasser, trocknet es mit Fliefspapier und klemmt es noch feucht zwischen die beiden Metallplatten des Schirms $P$. Auf diese Weise erhält man einen vollkommen undurchsichtigen Schirm mit gut ebenen und diffus reflektirenden Flächen. Dasselbe erreicht man durch eine Gyps-

platte oder eine beiderseitig matt weiſs angestrichene Metallplatte. *e* und *f* sind ausgesuchte, ebene, mit Quecksilberamalgam belegte Spiegel, welche von demselben Stück geschnitten sind. Statt derselben können natürlich auch total reflectirende Prismen benutzt werden. Vor der Lupe ist in gewisser Entfernung ein Diaphragma angebracht, welches gröſser als die Pupille sein muſs. Dem Gesichtsfelde kann man dadurch eine scharfe Umgrenzung von gewünschter Form geben, daſs man die äuſseren Theile der Hypotenusenfläche von *B* mit Asphaltlack bestreicht.

Man konnte bei diesem Photometer eine Änderung von 1,5 % der Intensität einer Lichtquelle ohne Weiteres deutlich wahrnehmen; der mittlere Fehler einer Einstellung bleibt unter 0,5 %. Bei den Versuchen zur Prüfung der Genauigkeit wurden als Lichtquellen die Spiegelbilder einer und derselben von Accumulatoren gespeisten Glühlichtlampe, welche hinter der Mitte der Bank, fest mit ihr verbunden, in Höhe des Photometerschirmes aufgestellt war, verwendet. Die Spiegel sitzen auf der Bank zu beiden Seiten der Glühlichtlampe; zwischen ihnen ist das Photometer verschiebbar. Man orientirt die Spiegel so, daſs die Verbindungslinie der durch sie entworfenen Bilder durch die Mitte des Schirmes geht. Der Abstand der Bilder betrug bei diesen Versuchen 2600 *mm*. Bei der Ablesung des Index wurden Zehntelmillimeter geschätzt. Die Versuchsreihen wurden so ausgeführt, daſs Jeder der beiden Beobachter 10 Einstellungen machte, aus denen der mittlere Fehler einer Einstellung berechnet wurde.

Bei allen Empfindlichkeitsbestimmungen wurde darauf gesehen, daſs sich die Helligkeit der Felder in dem Bereich befand, in dem mit groſser Annäherung das psychophysische Grundgesetz gilt. Bekanntlich nimmt bei geringerer Helligkeit die Empfindlichkeit unseres Auges schnell ab. Bei praktischen Lichtmessungen ist dieser Umstand, wie schon oben erwähnt, insofern sehr störend, als man es mit sehr lichtschwachen Einheiten zu thun hat. Um mit ihnen eine genügende Beleuchtung des Schirmes zu erzielen, muſs man sie so nahe an das Photometer bringen, daſs die genaue Messung der Entfernung schwierig wird.



*Fig. 169.*

Nahe und enge Aneinanderstellung von Flächen, die von verschiedenen Lichtquellen her beleuchtet sind, hat Herr E. Brücke[1] in andrer Weise erzielt, indem er aus gleich dicken, und nicht zu dicken nahezu planparallelen schlierenfreien farblosen Glasplatten gleich groſse rechtwinkelige Dreiecke schneiden lieſs, diese mit ihren Flächen zu einem dreikantigen Prisma aufeinanderkittete, und das Prisma, wenn der Kitt hinreichend fest geworden war, an seiner Hypotenusenfläche und den beiden Kathetenflächen abschleifen und poliren lieſs. Dann löste er den Kitt wieder auf und reinigte die einzelnen Dreiecke und legte sie in ein besonders dazu hergestelltes Gestell *Fig. 170* trocken übereinander, daſs je eine Kathete *a b* jedes Dreiecks in die dem Beobachter zugekehrte Vorderebene der Glasmasse fiel, die Hypotenusen je zweier auf einanderfolgender Dreiecke *a d* und *b c* sich dagegen rechtwinkelig schnitten, wie es *Fig. 169* darstellt.

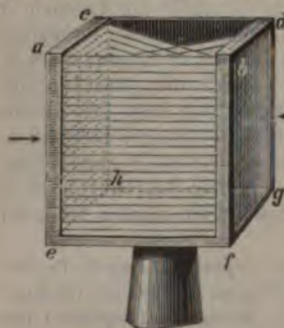


*Fig. 170.*

Die Seitenflächen des Gestells *a c h e* und *b d f g* sind mit durchscheinendem Papier geschlossen und durch die zu vergleichenden Lichter beleuchtet. Der Beobachter sieht an der Vorderseite abwechselnde Streifen der einen und andern Beleuchtung, die von den Hypotenusenflächen gespiegelt sind, und versucht durch Entfernen und Annähern der Lichter dieselben gleich zu machen. Für gleichfarbige Beleuchtung würde dies ausreichen. Für Vergleichung verschieden gefärbter Lichter nimmt er dann noch Verringerung der scheinbaren Gröſse der Streifen zu Hülfe, indem er entweder in gröſsere Ent-

[1] E. Brücke, „Über zwei einander ergänzende Photometer" in *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 1890. Januar.

fernung geht, dabei für vollkommen gute Accommodation durch Brillengläser sorgend, oder das streifige Feld durch einen umgekehrten Operngucker in verkleinertem Bilde betrachtet. So sucht er zu ermitteln, bei welchem Verhältnifs der Beleuchtungen der Unterschied der Streifen bei verhältnifsmäfsig gröfster scheinbarer Gröfse des Bildes verschwindet.

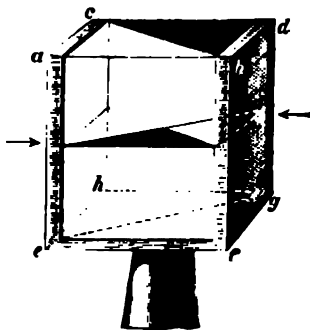


*Fig. 171.*

Ein ähnlich construirter Apparat, der aber nur zwei dickere Prismen *Fig. 171* enthält, dient dazu bei denselben Beleuchtungen Versuche über die Erkennbarkeit kleiner Objecte anzustellen, die an den beiden Seitenflächen des Gestells angebracht sind z. B Zeichnungen mit feinen Linien oder feine Gewebe.

Leonhard Weber[1] hat ebenfalls ein Photometer angegeben bei dem eine Nebeneinanderstellung der von zwei Lichtquellen gegebenen Beleuchtungen mit wenig sichtbarer Trennungslinie hergestellt ist. Diese wird nur durch die Kante eines total reflectirende rechtwinkeligen Prisma gebildet; die hellen Felder sind von transparenten Milchglasplatten gebildet, von denen die eine direct, die andere reflectirt gesehen wird. Wir kommen darauf bei der heterochromatischen Photometrie zurück.

Contrastphotometer. Die Aufgabe des Beobachters bei diesen Photometern ist zu entscheiden, ob die Deutlichkeit der Unterscheidung von zwei gleichzeitig und nahe neben einander unter übrigens gleichen Umständen gesehenen Feldern, die sich sehr wenig von ihrem Grunde unterscheiden, gleich oder verschieden sei. Es handelt sich also darum zwei sehr kleine Lichtunterschiede in Bezug auf ihre Erkennbarkeit mit einander zu vergleichen. Das Princip dieser Methode ist zuerst angewendet worden von Herrn Fr. Rüdorff,[2] und derselbe erkannte auch die überlegene Genauigkeit dieser Methode, der älteren gegenüber, welche auf Ununterscheidbarkeit einstellt. Rüdorff stellte das mit einem Fettfleck versehene senkrechte Blatt eines Bunsen'schen Photometers zwischen zwei gegen das Blatt unter einem passenden Winkel geneigte ebenfalls senkrechte Planspiegel, so dafs der Beobachter jede der beiden Flächen des Papiers mit ihrem Fleck in je einem der Spiegel sah, beide dicht neben einander Der Contrast ist aber hierbei meist zu grofs, als dafs das Maximum der Empfindlichkeit erreicht wurde. Erst die durch Lummer und Brodhun[3] angegebene Modification ihres oben beschriebenen Photometers erlaubt die Gröfse des Unterschieds zu verändern und die vortheilhaftesten Bedingungen für jeden Beobachter herauszusuchen. Für sehr geübte Beobachter ist ein kleinerer Unterschied der Beleuchtung (2 bis 3 %) am vortheilhaftesten, als für ungeübte (3,5 %).

Die genannten Beobachter brauchten wiederum zwei mit den Hypotenusenflächen an einander gelegte rechtwinkelige Prismen, und die gleiche Beleuchtungsweise, wie in ihrem vorher beschriebenen Apparate, wo auf Gleichheit der Helligkeit der beiden Felder eingestellt wird Für das Contrastphotometer ist die durch Sandgebläse eingeätzte Figur der einen Hypotenusenfläche abweichend, nämlich nach neuster Angabe entsprechend der *Fig. 172*. Die punctirten Flächenstücke sind geätzt, und geben [illegible] Reflexion des gespiegelten Lichts, die [illegible] sind [illegible] Contact mit dem andern Prisma und zeigen das [illegible] Licht

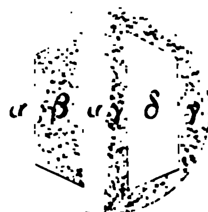


*Fig. 172.*

1 L. Weber Mittheilung über einen photometrischen Apparat [illegible] XX [illegible]
2 Fr. Rüdorff. „Über das Bunsen'sche Photometer [illegible] und S. 24 [illegible]
3 O. Lummer und E. Brodhun. „Photometrische Untersuchungen II [illegible] December 1889

2) Um kleine veränderliche Differenzen der Lichtstärke zu erreichen, sind auf jeder Seite zwei verticale drehbare Glasplättchen hinzugefügt, nach dem in dem Grundrifs *Fig. 173* hinzugefügten Schema. *ah* ist ein Horizontalschnitt der Hypotenusenflächen der Prismen; die schwarzen Stellen zeigen die Orte des optischen Contacts an, die hellen die der totalen Reflexion. In Folge dessen gehen Strahlen durch das Prisma, theils geradlinig, wie *cc* und *dd*, theils reflectirt, wie *ee* und *ff*. In den Weg der Strahlen *ff* und *cc* sind zwei ebene Glasplättchen *ph* und $p_1 h_1$ angefügt, den Prismenflächen parallel liegend, mit dünner Luftschicht dazwischen; in *p* und $p_1$ sind zwei verticale Axen angebracht, um welche sich andre Glasplatten derselben Art *pk* und $p_1 k_1$ drehen können. Durch eine Gelenkverbindung $klp_1$ wird bewirkt, dafs der Winkel *hpk* dem Winkel $k_1 p_1 h_1$ immer gleich bleibt. Da die beiden Platten *kp* und $k_1 p_1$ von den Strahlen schräg durchlaufen werden, so geht in ihnen etwas mehr Licht durch Reflexion und Absorption verloren, als in *ph* und $p_1 h_1$. Die Ränder der Glasplatten und das Gelenk *p* bleiben von *O* her gesehen hinter dem total reflectirenden Streifen $\gamma$ versteckt. Ebenso wird $p_1$ so gelegt, dafs sein Spiegelbild hinter dem vollkommen durchsichtigen Streifen erscheinen müfste, aber wegen mangelnder Reflexion nicht erscheint. Die Mittelfelder $\beta$ und $\delta$ unterliegen nur dem schwächeren Lichtverluste an den senkrecht durchstrahlten Glasplatten *ph*, die Randfelder dagegen $\alpha\alpha$, und $\gamma\gamma$, dem stärkeren Verluste durch die schräg gestellten Platten *pk*. Ist das Photometer also auf Gleichheit der symmetrisch liegenden Felder eingestellt, so erscheinen beide Mittelfelder etwas heller als die Randfelder. Kommt aber ein Helligkeitsunterschied zwischen dem durchgelassenen und total reflectirten Licht hinzu, so addirt sich derselbe im einen Felde, im andern subtrahirt er sich zu und von der Helligkeitsdifferenz der Mittelfelder. Diese wird auf der einen Seite deutlicher, auf der andern undeutlicher.

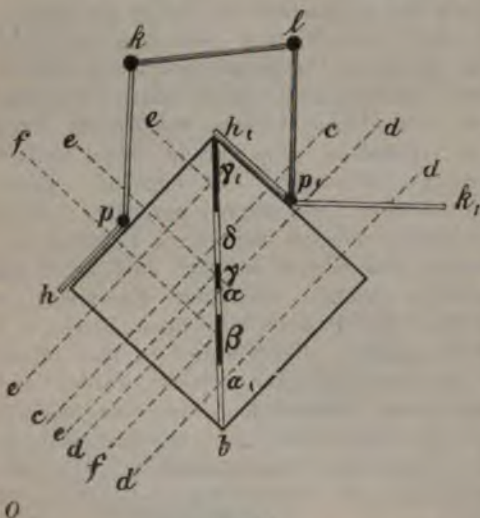


*Fig. 173.*

Bei geringerem Contrast als 3 % sind die Einstellungen, da sie dem Schwellenwerth zu nahe liegen zu ermüdend. Bei 18 % Contrast ist die Empfindlichkeit schon entschieden geringer als beim Gleichheitsphotometer, wo, wie oben erwähnt, der mittlere Fehler sich auf etwa 0,5 % beläuft. Farbenunterschiede stören das Contrastphotometer mehr als das Gleichheitsphotometer.

Um einen Begriff von der Genauigkeit der Einstellungen zu geben, haben die genannten Beobachter Messungen mit verschiedenen Contrasten angestellt, und die mittleren Fehler einer Einstellung aus je 20 hinter einander angestellten Beobachtungen berechnet, wie folgt:

| Contrast | 3 % | 3,5 % | 7 % | 10 % | 18 % |
|---|---|---|---|---|---|
| Mittlerer Fehler einer Einstellung | 0,24 % | 0,22 % | 0,39 % | 0,43 % | 0,81 % |

**Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität.**

Ich habe schon oben (S. 255 und 264) erwähnt, dafs die Erkennbarkeit einer Gesichtsobjecte in hohem Grade von der Beleuchtungsstärke abhängt. ese Thatsache ist seit langer Zeit bekannt. Schon TOBIAS MAYER (1754) obachtete, dafs die Sehschärfe bei schwacher Beleuchtung abnimmt, bei igender Beleuchtung dagegen zunimmt, bis Blendung eintritt, wo sie wieder ringer wird. Bei der Wichtigkeit, welche in neuerer Zeit die Messungen r Sehschärfe für die Augenheilkunde erreicht haben, sind diese Studien lfach wieder aufgenommen worden.

Neuere methodische Bestimmungen der Sehschärfe in verschiedenen ectralfarben bei wechselnder Beleuchtungsstärke sind zunächst von den rren MACÉ DE LÉPINAY und NICATI[1] gemacht worden, wobei sich in der at herausstellte, dafs auch die Sehschärfe in den blauen Farben bei geger Lichtstärke dieselbe Überlegenheit zeigt, wie die scheinbare Helligit. Dasselbe Resultat wurde von Herrn W. UHTHOFF[2] bestätigt für eine l breitere Abstufung der Lichtstärken, als seine Vorgänger angewendet tten.

Für seine Versuche mit Spectralfarben hat sich derselbe ein grofses mit der rbe gleichmäfsig gefülltes Feld nach der in *Fig. 128* S. 301 skizzirten Methode rschafft, indem er das Glasprisma durch ein viel gröfseres Flüssigkeitsprisma erzte, welches mit dem stark dispergirenden zimmtsauren Äthyloxyd gefüllt war. r der hellen farbigen Fläche war eine verschiebbare Glastafel mit den von ELLEN neuerdings für die ärztlichen Prüfungen der Sehschärfe (S. 264) eingehrten Gesichtszeichen angebracht. Es sind dies Häkchen von der Form ⊔ und , welche vor dem hellen Grunde liegen, und von einem Assistenten gedreht erden können. Sie werden ohne Wissen des Beobachters mit ihrer Öffnung bald ch oben, oder unten, rechts oder links gekehrt, und der Beobachter mufs danach geben, wie sie stehen. Als Einheit der Sehschärfe gilt es, wenn er dies für das ste Zeichen unter einem Gesichtswinkel von 4′40″, für die zweiten unter einem on 5′ thun kann. Dieser Einheitswinkel, dividirt durch den Sehwinkel, unter dem ie Unterscheidung möglich ist, giebt den Werth der Sehschärfe. Da bei verschieenen Lichtstärken gearbeitet werden sollte, wurde der Einflufs der Pupillenweite seitigt, indem der Beobachter durch eine Öffnung von 1,06 mm Durchmesser sah. Die Helligkeit wurde durch bilaterale Erweiterung des Spaltes erreicht, der das Licht zum Prisma eintreten liefs. Die Beleuchtung kam von einem Triplex-Gasbrenner.

Die Versuche ergaben für alle Farben das gemeinsame Resultat, dafs die Sehschärfe bei kleiner Lichtstärke mit dieser letzteren sehr schnell steigt, dann bei steigender Beleuchtung in eine Periode immer langsamerer Zunahme übergeht. Ein Maximum der Sehschärfe wurde bei den ersten mit Gaslicht angestellten Versuchen nicht erreicht.

Indessen hat derselbe Beobachter vereint mit Herrn A. KÖNIG[3] die

---

[1] J. MACÉ DE LÉPINAY et W. NICATI, *Ann. d. chim. et de phys.* Sér. 5. T. 24. p. 289. 1881 und T. 30 . 145. 1883.

[2] W. UHTHOFF, Über das Abhängigkeitverhältnifs der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität. *raefe's Archiv.* Bd. XXXII. (1.) S. 171 und XXXVI. (1.) S. 33.

[3] In der zweiten der oben citirten Abhandlungen und in *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der nesorgane.* Bd. 1. S. 155.

Versuche noch fortgesetzt unter Anwendung von Zirkonlicht, um das mum der Sehschärfe zu erreichen, und später auch als Gesichts Stäbchengitter angewendet, (wie in § 18 S. 257—259 oben). Sie bel dabei fast gleiche maximale Sehschärfen für alle Farben, deren Unterschiede als zufällig erscheinen, namentlich da sie bei beiden Beoba entgegengesetzt im Sinne waren. Für die Gesammtbreite von einem schw und einem hellen Bande fanden sie den Gesichtswinkel:

| | | |
|---|---|---|
| W. U.: | Maximum (Roth und Violett) | 56',5 |
| „ | Minimum (Gelb und Gelbgrün) | 53',2. |
| A. K.: | Minimum (Roth) | 63',4 |
| „ | Maximum (Gelb und Violett) | 66',9. |

Diese Zahlen sind mit denen der letzten Columne der Tabelle auf S vergleichbar.

Die von Herrn W. UHTHOFF nach seinen Messungen entworfenen C welche die Sehschärfe als Function der Helligkeit darstellen, sind in Verlaufe den andern ziemlich ähnlich, welche A. KÖNIG und E BR für die Unterschiedsschwellen der Lichtstärke entworfen haben (*Fig* S. 412). Die Curven für die blauen Farben unterscheiden sich, wie durch einen viel flacher gewölbten Übergang aus dem schnell in den sam steigenden Theil der Curve.

Leider ist die Reduction dieser Curven der Sehschärfe auf Lichteinheite nahehin gleicher Helligkeit, wie sie die Herren A. KÖNIG und E. BRODHU braucht haben, nicht mit wünschenswerther Genauigkeit zu vollziehen. Ann kann man es erreichen durch Benutzung der Angaben, welche Herr E. BR in seiner später zu besprechenden Dissertation über die Vertheilung der Hel im Spectrum einer ähnlichen Gasflamme gemacht hat, die übrigens auch f trichromatische Auge des Herrn A. KÖNIG ausreichend gut paſsten. E dies, wie in den Tabellen S. 405 bis 408, Lichteinheiten, die in gleicher hinreichend groſser Anzahl genommen allen Farben nahe gleiche Helligkeit gebe gebe in der folgenden Tabelle UHTHOFFs Zahlen in dieser Umrechnung, inde die von ihm angegebenen Lichtstärken, die zunächst gleichen Spaltbreiten sprachen, mit Coëfficienten multiplicirt habe, die den von BRODHUN angeg Helligkeiten der einzelnen Regionen des durch ein Glasprisma entworfenen Sp einer gleichartigen Flamme entsprechen. Bei der geringen Genauigkeit, dies Verfahren gewähren kann, habe ich die Unterschiede der Dispersio zimmtsauren Äthyloxyds und des Glases vernachlässigen zu dürfen geglaubt.

Am unsichersten ist der Coëfficient für das Violett, da dieser nur durch polation gewonnen ist. Im Ganzen aber zeigt diese Zusammenstellung, daſs wir die UHTHOFFschen Messungen auf Lichteinheiten beziehen, die bei gr Intensität gleich hell erscheinen die kleineren Grade der Sehschärfe im Viole Blau schon bei viel geringen Lichtmengen erreicht werden, als im Gelb und daſs aber bei höheren Beleuchtungsstärken die Unterschiede zwischen benach Farben viel geringer werden, beziehlich verschwinden. Leider fehlen für die Farben die höheren Intensitäten, und der Gang der Zahlen zeigt noch man Unregelmäſsigkeiten, die bei allen solchen Beobachtungen über die Gren Wahrnehmbarkeit nicht überraschen können. Wir finden durchgehend die Seh

**afel der Sehschärfen für verschiedene Farben und Helligkeiten.**

| 'ellenlänge | 670 µµ | 605 µµ | 575 µµ | 505 µµ | 470 µµ | 430 µµ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Coëfficient | 2,04 | 9,15 | 6,95 | 0,532 | 0,0567 | 0,0084 |
| ehschärfe | Helligkeit | | | | | |
| 0,13 | — | — | — | 0,0266 | — | — |
| 0,14 | — | — | — | — | 0,00567 | — |
| 0,18 | — | — | — | — | — | 0,00168 |
| 0,23 | — | — | — | — | 0,01134 | — |
| 0,24 | — | — | 0 3475 | — | — | — |
| 0,35 | — | — | — | 0,0532 | — | 0,00504 |
| 0,39 | — | — | — | — | — | 0,00672 |
| 0,40 | — | 0,4575 | — | — | — | — |
| 0,41 | — | — | | — | 0,02268 | — |
| 0,48 | — | — | — | — | — | 0,00840 |
| 0,61 | — | — | — | — | 0,03402 | — |
| 0,67 | — | — | — | 0,1064 | — | — |
| 0,73 | — | — | — | — | — | 0,0168 |
| 0,74 | — | — | — | — | 0,0454 | — |
| 0,76 | 0,204 | — | — | — | — | — |
| 0,84 | — | — | — | — | 0,0567 | — |
| 0,90 | — | — | — | — | — | 0,0336 |
| 0,94 | — | — | — | 0,1596 | — | — |
| 1,02 | — | — | — | — | — | 0,0504 |
| 1,03 | — | — | — | — | 0,1134 | — |
| 1,10 | — | — | — | — | — | 0,0672 |
| 1,12 | 0,408 | — | — | — | — | — |
| 1,18 | — | — | — | 0,2128 | — | 0,0840 |
| 1,24 | — | 0,915 | — | — | — | — |
| 1,26 | — | — | — | — | 0,2268 | — |
| 1,29 | — | — | — | 0,266 | — | — |
| 1,32 | — | — | 1,0425 | — | — | — |
| 1,34 | — | — | — | 0,2592 | — | — |
| 1,38 | — | — | — | — | 0,3462 | — |
| 1,39 | 0,612 | — | — | — | — | — |
| 1,45 | — | — | — | — | 0,4536 | — |
| 1,56 | — | — | — | — | 0,5670 | — |
| 1,59 | — | — | 2,085 | — | — | — |
| 1,60 | — | — | — | 0,3456 | — | — |
| 1,64 | 0,820 | — | — | 0,4788 | — | — |
| 1,65 | — | 1,830 | — | — | — | — |
| 1,69 | 1,224 | — | — | 0,5532 | — | — |
| 1,79 | 1,428 | — | — | — | — | — |
| 1,80 | 1,632 | — | — | — | — | — |
| 1,83 | — | 3,66 | — | — | — | — |
| 1,84 | 2,04 | — | 2,78 | — | — | — |
| 1,91 | — | — | 3,475 | — | — | — |
| 1,93 | — | — | — | 1,064 | — | — |
| 1,94 | 4,08 | — | — | — | | — |
| 1,98 | — | 5,49 | 4,17 | 2,66 | — | — |
| 1,99 | — | 7,32 | — | — | — | — |
| 2,03 | 10,20 | — | — | 4,156 | — | — |
| 2,05 | — | — | — | 5,32 | — | — |
| 2,08 | — | — | 5,56 | — | — | — |
| 2,09 | 16,32 | — | — | — | — | — |

| Sehschärfe | 670 $\mu\mu$ | 605 $\mu\mu$ | 575 $\mu\mu$ | 505 $\mu\mu$ | 470 $\mu\mu$ | 430 $\mu\mu$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,10 | — | 9,15 | — | — | — | — |
| 2,12 | — | — | 6,95 | — | — | — |
| 2,17 | — | — | 13,90 | — | — | — |
| 2,21 | — | — | 20,85 | — | — | — |
| 2,25 | — | 36,60 | 27,80 | — | — | — |
| 2,29 | — | — | 41,70 | — | — | — |
| 2,31 | — | — | 55,60 | — | — | — |
| 2,32 | — | 54,90 | — | — | — | — |
| 2,35 | — | 73,20 | — | — | — | — |
| 2,37 | — | 91,50 | — | — | — | — |

wachsend, wo die Empfindlichkeit für Unterschiede der Lichtstärke (d. h. die Klarheit), wächst und umgekehrt. Die einzige durchgehende Abweichung liegt in dem Verhältnifs zwischen dem Roth einerseits, Gelb und Gelbgrün andrerseits, in dem die letzteren und nicht Roth sich als diejenigen Farben zeigen, die bei niedriger Intensität die geringsten Sehschärfen geben, während andrerseits die Klarheit nach den Versuchen von A. König und E. Brodhun für die geringen Helligkeiten gerade im Roth verhältnifsmäfsig am kleinsten ist, und sich dieses am meisten von den blauen Farben entfernt, die das Purkinjesche Phänomme zeigen.

Der ganze Gegenstand ist zu neu, als dafs sich entscheiden liefse, wie viel individuelle Abweichungen hier mit sprechen. Bestimmteres wird sich erst sagen lassen, wenn derselbe Beobachter bei denselben Beleuchtungen Sehschärfen und Helligkeiten verglichen hat.

## Vergleichung verschiedener Farben betreffs ihrer Helligkeit.

Dafs man auch verschiedene Farben in Bezug auf ihre Helligkeit vergleichen kann, ist im Vorigen mehrfach erwähnt worden. Aber die Sicherheit und Genauigkeit einer solchen Vergleichung erweist sich als eine viel geringere, als diejenige, welche bei Vergleichung von Lichtern derselben Farbe erreicht werden kann. Selbst schon bei den sehr geringen Unterschieden des Farbentons, wie sie bei praktisch photometrischen Messungen von Flammen verschiedener Temperatur und von elektrischen Glühlampen verschiedener Stromdichtigkeit vorkommen ist die Störung sehr merklich. Sollen gar Lichter von sehr weit abweichendem Farbentone mit einander verglichen werden, so wächst die Unsicherheit und Verlegenheit der Beobachter in hohem Grade. Sehr erhebliche Unterschiede der Helligkeit zwischen ganz verschiedenen Farben werden allerdings ohne Zweifeln und Schwanken anerkannt. Namentlich kann es nicht zweifelhaft sein, dafs wenn die eine Farbe als die Summe aus der andern und einem andersfarbigen Summanden anzusehen ist, die Summe immer heller als jeder der Theile erscheint. Das zeigt sich, sobald man auf irgend einem farbig beleuchteten Felde einen Fleck noch mit andersfarbigem Licht beleuchtet.

Beobachter, die sich in dergleichen Beobachtungen viel geübt haben, kommen schliefslich zu etwas gröfserer Sicherheit, die allerdings auch durch eine Art von festerer Gewöhnung, oder gröfsere Aufmerksamkeit auf ver-

schiedene unterstützende Nebenwirkungen gewonnen werden könnte. Auffallend ist die gröfsere Sicherheit, welche hierbei dichromatische Beobachter zeigen, bei denen ja übrigens auch die Aufgabe eine viel einfachere ist; wenigstens hat sich Herr E. Brodhun in dieser Beziehung seinen Mitbeobachtern durchaus überlegen gezeigt, selbst in der Vergleichung solcher Farben, die auch seinem grünblinden Auge ungleich erscheinen.

Ich selbst mufs gestehen, dafs ich über eine grofse Unsicherheit in diesen Vergleichungen nie hinausgekommen bin, obgleich ich in der Vergleichung sehr kleiner Farbenunterschiede bei gleicher Helligkeit, und sehr kleiner Helligkeitsunterschiede bei gleicher Farbe andern Beobachtern nicht nachzustehen glaube.

Zunächst ist nun hier eine Thatsache zu erwähnen, die auch ungeübten Beobachtern leicht wahrnehmbar wird, und die jetzt unter dem Namen des Purkinjeschen Phänomens bezeichnet zu werden pflegt, da sie von diesem Autor zuerst erwähnt worden ist, und welche zeigt, dafs bei verschiedenen Farben die Empfindung der Helligkeit eine verschiedene Function der absoluten Lichtstärke ist. Wählt man zwei verschiedene farbige Felder, die bei starker Lichtintensität gleich hell erscheinen, und reducirt man die Lichtstärke beider in gleichem Verhältnifs, z. B. auf ein Zehntheil, so wird man finden, dafs bei dieser geringeren Lichtstärke die blauen Farben entschieden heller erscheinen als die rothen oder grünen. Purkinje[1] bemerkt dementsprechend, dafs Blau bei schwächstem Licht erkannt wird, Roth erst bei stärkerem. Sodann hat Dove[2] darauf aufmerksam gemacht, dafs wenn man die scheinbare Helligkeit von Flächen, die mit verschiedenen Farben überzogen sind, bei verschiedener Intensität derselben Beleuchtung vergleicht, bald die eine, bald die andere heller aussieht. Im allgemeinen überwiegen bei grofser Beleuchtungsstärke die weniger brechbaren rothen und gelben Farben, bei geringerer die blauen und violetten. Wenn ein rothes und ein blaues Papier bei Tageslicht gleich hell aussehen, so erscheint bei Einbruch der Nacht das blaue heller, das rothe oft ganz schwarz. Ebenso findet man, dafs in Gemäldesammlungen bei sinkendem Abend (einen trüben Himmel und fehlende Abenddämmerung vorausgesetzt) die rothen Farben zuerst schwinden, die blauen am längsten bleiben. Auch in der dunkelsten Nacht, wenn alle anderen Farben fehlen, sieht man noch das Blau des Himmels.

Noch auffallender habe ich diese Erscheinungen gefunden, wenn man prismatische Farben vergleicht. Wenn man den in *Fig. 145* S. 352 abgebildeten Apparat zur Mischung von Spectralfarben benutzt, und vor das Feld, welches mit den beiden Farben beleuchtet ist, ein senkrechtes Stäbchen hält, so wirft dies zwei verschiedenfarbige Schatten, da die beiden beleuchtenden verschiedenfarbigen Strahlenbündel von etwas verschiedenen Richtungen, nämlich von den beiden Spalten des letzten Schirmes (*S'* in *Fig. 145*)

[1] Purkinje, *Zur Physiologie der Sinne*. Bd. II. S 109. 1825.

[2] Dove, Über den Einflufs einer weifsen Beleuchtung auf die relative Intensität verschiedener Farben. *Berl. Monatsber.* 1852. S. 69—78. — *Pogg. Ann.* LXXXV. 397 - 408.

herkommen. Wäre also z. B. Violett und Gelb gemischt, so würde violette Spalt einen Schatten werfen, der nicht mehr von Violett, wohl von Gelb beleuchtet ist, also gelb erscheint. Der andre Spalt würde e violetten Schatten werfen. Macht man nun den Spalt, der das Vi durchläfst breiter, so wird das Violett, also auch der violette Schatten l stärker, und man kann durch passende Regulirung der beiden Spalten le erreichen, dafs der violette Schatten dem Auge etwa ebenso hell ersch wie der gelbe. Wenn man nun den einfachen Spalt des ersten Schir durch welchen das vom Heliostaten reflectirte Licht zum Prisma tritt, weitert oder verengt, so verstärkt oder schwächt man die ganze Lichtm die in den Apparat tritt, und zwar alle ihre farbigen Lichter in gleic Verhältnisse. Dabei zeigt sich, dafs schon bei einer geringen Verstärl des gesammten Lichts das Gelb heller, bei einer geringen Schwächung dag dunkler als Violett erscheint. Dieser Unterschied ist viel geringer, man zwei Farben aus der weniger brechbaren Hälfte des Spectrum ni gröfser wenn beide aus der brechbarerem Hälfte sind, am gröfsten, man sie von den Enden des Spectrum nimmt.

Genauer ist diese Erscheinung an Spectralfarben für seine grünblinden A dann von Herrn E. BRODHUN[1] verfolgt worden, der die unmittelbaren Vergleichu der Helligkeit, wie schon erwähnt, mit verhältnifsmäfsig grofser Sicherheit aus und in dieser Richtung sehr geübt ist. Da die verglichenen Felder in me Farbenmischapparate nicht sehr grofs sind, war bei 25maliger Wiederholung gl artiger Messungen der mittlere Fehler der einzelnen Beobachtung, für die gleichung von

roth mit roth 3,0 %
blau mit blau 3,3 %
blau mit roth 5,8 %,

wodurch die relative Sicherheit der Beobachtungen charakterisirt ist. Bei Versuchen wurde mein Farbenmischapparat (*Fig. 147* S. 355) benutzt, wobei in beiden Feldern neben einander einfache Spectralfarben erschienen. Durch derung der Breite des einen Spalts wurde gleiche Helligkeit auf beiden Seiten erz und die Breite beider Spalten abgelesen, der Versuch 10mal wiederholt. l wurde der bisher unveränderte Spalt ebenfalls verändert, und das ganze fahren bei diesem veränderten Grade der Helligkeit wiederholt. Auch wurden sorbirende Gläser zu Hülfe genommen, um zu kleine Spaltbreiten zu verme Ebenso mufsten zu grofse vermieden werden, um nicht verschiedenartige oder schieden helle Theile des Spectrum zusammen zu mischen. Man erhielt auf Weise für verschiedene Farbenpaare Zahlen für die Spaltbreiten, welche gle Helligkeiten beider Farben entsprachen.

Dabei hat sich nun herausgestellt, dafs wenn man oberhalb einer gew Helligkeit bleibt, die Spaltbreiten gleicher Helligkeit für alle Farbenpaare ein nahe proportional wachsen, dafs bei Verminderung der Helligkeit aber schliefslic Spalten für die blauen Farben verhältnifsmäfsig stärker verengt werden mü als die für die weniger brechbaren Farben, um die gleiche Helligkeit zu erh

[1] EUGEN BRODHUN. *Beiträge zur Farbenlehre.* Inaug. Diss. Berlin 1887.

Wenn die Vergleichung mit rothem Licht von 670 $\mu\mu$ Wellenlänge geschah, zeigte sich bei 600 $\mu\mu$ (orange) noch keine Abweichung von der Proportionalität. bei 570 $\mu\mu$ (gelb) eine verhältnifsmäfsig geringe, dagegen von 540 $\mu\mu$ (grün) ab bis 450 $\mu\mu$ dieselbe in steigendem Maſse, so daſs eine Abweichung von 15 % vorkam bei den Spaltbreiten $b$ des Lichts von 670 $\mu\mu$

gegen Licht, dessen $\lambda$ = 570 540 510 490 470 450

$b$ = 20 30 36 20 75 68

Bei den kleineren Helligkeiten des violetten Lichts (Spaltbreite für 670 $\mu\mu$ = 10) steigt aber die Abweichung bis auf 126 %.

Die durch Spaltbreite 16 ausgedrückte Helligkeit ist gleich der, welche man erhält, wenn eine normalweiſse Fläche in einem halben Meter Entfernung durch eine SIEMENSsche Platinglühlampe (d. h. eine schmelzende blanke Platinfläche von $(\frac{3}{2})^2 \pi$ 9 qmm. Oberfläche beleuchtet und eine rechteckige Öffnung von 1,98 mm. Höhe und 0,77 mm. Breite betrachtet wird.

Herr A. KÖNIG glaubte anfangs für sein trichromatisches Auge dasselbe Resultat zu finden, daſs nämlich bei hinreichend hohen Graden der Helligkeit gleich helle Farben bei Verdoppelung ihrer Lichtstärke gleich hell blieben. Bei neuerer auf höhere Helligkeiten ausgedehnten Versuchen[1] zeigten sich aber die dem PURKINJEschen Phänomen entsprechenden Abweichungen bis zu den höchsten Helligkeiten hinauf wenn auch an Gröſse stark abnehmend. Dagegen fand sich bei einem Rothblinden (Herrn Dr. RITTER.) eine obere Grenze, wie bei dem grünblinden Herrn BRODHUN.

Die Versuche der Herren MACÉ DE LÉPINAY[2] und NICATI haben ebenfalls kein Verschwinden von PURKINJEs Phänomen an der oberen Grenze der Lichtstärke angezeigt; die Frage ist bei ihnen aber nicht sicher entschieden, da sie eine Berechnungsweise angewandt haben, welche direkte Anwendbarkeit von FECHNERs Gesetz für alle Lichtstärken und Farben voraussetzt.

Übrigens zeigen die erwähnten neueren Beobachtungsreihen von A. KÖNIG die Curven der relativen Helligkeitswerthe der Spektralfarben, welche regelmäſsig mit der Helligkeit des Grün der Wellenlänge 535 (Grün) verglichen wurden, den durch PURKINJEs Phänomen bedingten sehr verschiedenen Gang. Bei schwächstem Licht lag das Maximum durchgehend bei $\lambda$ = 535, bei starkem Licht ging es vor bis 615 im Orange. Übrigens zeigten selbst einige normale Trichromaten erhebliche Abweichungen im Gange der Curve, während A. KÖNIG, eine trichromatische Dame und der grünblinde Herr E. BRODHUN ziemlich übereinstimmende Curven gaben. Der rothblinde Herr RITTER zeigte eine viel geringere Helligkeit im Roth. — Bei niedrigsten Helligkeiten stimmten die Curven der verschiedenen Beobachter unter einander und auch mit einigen der beobachteten Monochromaten ziemlich gut überein.

Die Beobachtungen der beiden Dichromaten, denen sich die von Herrn A. KÖNIG innerhalb der zuerst gebrauchten begrenzteren Skala der Lichtstärken anschlossen, schienen es möglich zu machen für alle Farben Lichteinheiten solcher Art zu finden, welche in gleicher und genügend hoher Anzahl genommen gleiche Helligkeiten darstellen. Nun zeigt sich allerdings jetzt, daſs eine ganz scharfe Bestimmung solcher

---

[1] A. KÖNIG, Über den Helligkeitswerth der Spectralfarben bei verschiedener absoluter Intensität in „Beiträge zur Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane." *Festschrift für H. v. Helmholtz.* Leopold Voss. Hamburg. 1891. S. 309. Auch separat erschienen.

[2] J. MACÉ DE LÉPINAY et W. NICATI. *Ann. d. Chimie et de Phys.* 5 Série. t. 24. p. 289. 1881 und t. 30. 145. 1883

Lichteinheiten wenigstens für trichromatische Augen nicht möglich ist, selbst inne halb der geringen Genauigkeitsgrade, welche die heterochrome Photometrie üb haupt zuläſst. Da aber mehrere Reihen von Messungen nach solchen Einheiten ausgefül worden sind, ist es wünschenswerth sie zu benennen. Ich habe dafür einstweil den Namen der äquilucenten Lichteinheiten oder Einheiten gleich Helligkeiten vorgeschlagen.

Die schon angeführten Untersuchungen von A. König und E. Brodhu über die Unterschiedsschwellen der Spectralfarben sind nach solchen äquil centen Einheiten berechnet, während bei den Untersuchungen von A. König u C. Dieterici über die Vertheilung der Grundempfindungen im Spektru nach ganz andern Einheiten gerechnet ist. Lichtquanta der gewählten El mentarfarben sind nämlich als gleich gesetzt worden, wenn sie zusamme Weiſs gaben. Das sind also Quanta von gleicher färbender Kraf Wir wollen die hiernach bestimmten Einheiten als colorimetrische od Farbeneinheiten bezeichnen. Für Mischfarben würde dies colorimetrisch Lichtquantum der Summe der entsprechenden Quanta der gewählten dre Grundfarben entsprechen.

Daſs diese beiden Arten von Lichteinheiten zu einander ein sehr ver schiedenes Verhältniſs haben, ergab sich schon aus meinen ersten Mischungs versuchen mit Spectralfarben (S. 319 und 331), die ich unter Anwendung des Doppelspaltes angestellt hatte,[2] die damals gefundenen Verhältnisse de Helligkeiten waren:

| | Bei starkem Licht: | Bei schwachem Licht: |
|---|---|---|
| Violett zu Grüngelb | 1 : 10 | 1 : 5 |
| Indigo zu Gelb | 1 : 4 | 1 : 3 |
| Cyanblau zu Orange | 1 : 1 | 1 : 1 |
| Grünblau zu Roth | 1 : 0.44 | |

Neuere Bestimmungen dieser Verhältnisse ergeben sich aus den Beobachtungen, welche A. König und E. Brodhun über die scheinbare Helligkeit der verschiedenen Theile des Spektrum gemacht haben, da beide für ihre Augen auch die Farbengleichungen der Spektralfarben bestimmt hatten. Für das dichromatische Auge von Brodhun stimmen die gefundenen Helligkeiten erträglich gut mit einer linearen Formel; dies gilt natürlich nur für so hohe Helligkeiten, die der Anzahl ihrer äquilucenten Lichteinheiten entsprechen. Waren $K$ und $W$ die Quanta der kalten und warmen Farbe (spektrales Violett und Roth) deren Mischung gleichaussehend der Spektralfarbe war, so konnte ihre Helligkeit $J$ gesetzt werden

$$J = 1{,}018 \,.\, W + 0{,}03915 \,.\, K$$

woraus folgt, daſs die Helligkeiten complementarer Mengen der beiden Farben sich wie 26 : 1 verhalten.

Die Abweichungen zwischen Beobachtung und Rechnung waren hierbei wenigstens nicht viel gröſser, nämlich bis 6 % reichend, als die mittleren Fehler der Helligkeitsvergleichungen sehr differenter Farben überhaupt. Übrigens beziehen sich die

[1] *H. Helmholtz*, *Pogg. Ann.* Bd. 94. S. 19.

bachtungszahlen auf das Spectrum des Gaslichts, welches nicht als unveränderlich esehen werden kann.

Die entsprechenden Beobachtungen für das trichromatische Auge von A. König eben für die Helligkeit gleicher Farbenwerthe von Violett und Roth das Ver-nifs 1 : 13,7, während die Helligkeit des von ihm supponirten elementaren n so gering erschien, dafs bei der verhältnifsmäfsig gröfseren Ungenauigkeit der chungs- wie der Helligkeitsverhältnisse im trichromatischem Auge eine Bestimmung nt gewonnen werden konnte. Im Roth und Gelbgrün des Spectrum von der llenlänge 670 $\mu\mu$ bis 545 $\mu\mu$, wo der Einflufs des Violett beginnt, war die ligkeit. so weit erkennbar, sogar nicht erheblich von der Proportionalität mit der Roth allein abweichend. Zu bemerken ist dabei, dafs dieses supponirte ele-ntare Grün, wie *Fig. 139* S. 340 zeigt, weit jenseits der Curve der Spectralfarben t. und dafs also diese letzteren nur kleine Bruchtheile desselben enthalten, die, n sie nicht erheblich heller sind als gleiche Farbenquanta des Violett, sich er den Unregelmäfsigkeiten der Beobachtungszahlen leicht verstecken konnten. Bei m Rothblinden (Dr. Ritter) fiel die Helligkeitscurve des Spectrum ziemlich genau der Grüncurve zusammen.

Um übrigens das von Herrn Brodhun seiner Rechnung zu Grunde gelegte setz für die Helligkeit gemischter Farben auch an andern Farben von grofsem terschied des Farbentons zu prüfen, ersuchte ich Herrn E. Brodhun, der durch n dichromatisches Farbensystem in dieser Hinsicht begünstigt ist, directe Hellig-itsvergleichungen am Farbenkreisel zu machen. Er verglich zunächst die Hellig-it von zwei rothen und zwei blauen Papieren mit Grau, welches auf dem Farben-eisel aus einem hellen Grau und Schwarz gemischt wurde. Dann stellte er rbengleichungen her zwischen einem Roth und einem Blau einerseits, Grau und hwarz andrerseits, und verglich den durch diesen Versuch gefundenen Werth des rau mit dem aus den ersten Bestimmungen berechneten. Es fand sich:

1) Helles Roth $R_h = \frac{160}{360}$ Grau,

2) dunkles Roth $R_d = \frac{110}{360}$ „

3) helles Blau $B_h = \frac{60}{360}$ Grau,

4) dunkles Blau $B_d = \frac{25}{360}$ „

Farbengleichungen, beobachtet:

| | | | |
|---|---|---|---|
| I. | 121 Gr. $= 127\, B_h + 233\, R_h$, | berechnet | $= 125$ Gr. |
| II. | 118 Gr. $= 95\, B_d + 265\, R_h$, | „ | $= 125$ Gr. |
| III. | 98 Gr. $= 94\, B_h + 266\, R_d$, | „ | $= 97$ Gr. |
| IV. | 97 Gr. $= 70\, B_d + 290\, R_d$, | „ | $= 94$ Gr. |

Die Übereinstimmung mit dem linearen Gesetz ist hierbei eine verhältnifsmäfsig gute.

**Vergleichung der Helligkeit sehr wenig unterschiedener Farben.**

Bei dieser grofsen Unsicherheit der directen Vergleichung der Helligkeiten sehr verschiedenartiger Farben, von der ich namentlich mich selbst persönlich nicht frei machen kann, habe ich versucht einen andren Weg einzuschlagen, der auf der Vergleichung sehr ähnlicher Farben beruht. Diese ist, wie schon die langjährige Erfahrung bei photometrischen Messungen lehrt, verhältnifsmäfsig viel sicherer und leichter auszuüben, und ich durfte hoffen durch Verfolgung eines continuirlichen Übergangs zwischen verschiedenen Farben, die alle auf gleiche Helligkeit gebracht wurden, bessere Helligkeitsgleichungen zwischen den Endfarben zu gewinnen.

Ich ging dabei aus von dem Grundphänomen, welches in der Photometrie benutzt wird, wenn es sich darum handelt zwei etwas verschieden gefärbte Lichter ihrer Helligkeit nach zu vergleichen. Wenn man die Lichtstärke des einen von ihnen allmälig verändert, so werden sie selbstverständlich niemals ganz gleich, aber man gelangt doch zu einer Einstellung, bei welcher der genannte Unterschied ein Minimum der Deutlichkeit erreicht. Man pflegt das Verhältnifs der Lichtstärken, welches dieser Einstellung entspricht, photometrisch als das Verhältnifs **gleicher Helligkeit** zu betrachten.

Ich habe es mir nun zunächst zur Aufgabe gestellt, diese Einstellung auf das Minimum der Erkennbarkeit des Unterschiedes bei einer Reihe von Mischfarben, die aus denselben Farbenelementen durch Mischung auf der Farbenscheibe erhalten wurden, durchzuführen. Die eine Mischfarbe, und zwar die etwas dunklere, blieb dabei unverändert, die andre erlitt kleine Veränderungen in ihrer Helligkeit und Mischung, indem man sehr schmale schwarze Sectoren sich einschieben liefs, um sie ein wenig dunkler zu machen, bis man die Grenzen der Ringe, in denen sich diese Farben zeigten, möglichst schwer erkennbar gemacht hatte, wobei sie dann auch gleich hell erschienen. Die dazu erforderlichen Verhältnisse wurden notirt.

Die Farbenmischungen füllten abwechselnd fünf concentrische Ringe auf der Scheibe. Die Kreisscheiben waren aus farbigen Papieren von möglichst gesättigter Farbe, aber nicht glänzender Oberfläche geschnitten; sie waren längs eines Radius gespalten nach der Methode von Maxwell, um die Winkel beliebig ändern zu können. In umstehender Figur 174 sind die hervorstehender Ränder der gespaltenen Scheiben abgebildet, wie sie auf deren vorderer Fläche sichtbar waren. Am oberen Umfange der Figur ist jeder vorliegenden Scheibe ein etwas kleinerer Radius gegeben, um sichtbar zu machen, wie sie zwischen einanderliegen. In Wirklichkeit waren die Scheiben hier durch congruente Kreislinien von gleichem Radius begrenzt.

Die Scheibe von etwas hellerer Farbe *R* und die schwarze haben einen einfachen radialen Einschnitt, erstre bei *bb*, letztre bei *dd*. Dagegen hat die Scheibe von dunklerer Farbe *B* eine mit zinnenförmigen Vorsprüngen versehene Grenzlinie zwischen *aa* und *cc*. Ersteres ist ein Radius, letzteres aber ist eine Parallele zu diesem Radius, so dafs die Winkelwerthe der Bögen zwischen *aa* und *cc* für die inneren Kreise gröfser werden, als für die äufseren. Die schwarze Scheibe wurde ebenfalls so eingelegt, dafs ihre Grenzlinie *dd* nicht genau die Lage eines Radius hatte, sondern parallel dem dicht daneben liegenden Radius *aa* lag, und somit der

schwarze Streifen, der im Grunde der zinnenartigen Ausschnitte hervorsah, überall dieselbe Breite hatte, und überall die Höhe der Zinnen um den gleichen Bruchtheil verkleinerte. Die Lage des Radius *b* konnte beliebig um fast den ganzen Umfang verschoben werden, mit Ausschlufs des von den Zinnen eingenommenen Streifens, so dafs man jede der beiden Farben *R* und *B* fast rein erscheinen lassen konnte, oder nach Wahl alle möglichen Abstufungen ihrer Mischung. Zu der durch die beiden zwischen den Radien *bb* und *aa* liegenden Sectoren bestimmten Farbenmischung kam dann in den bis *cc* reichenden Vorsprüngen des Feldes *B* ein kleiner

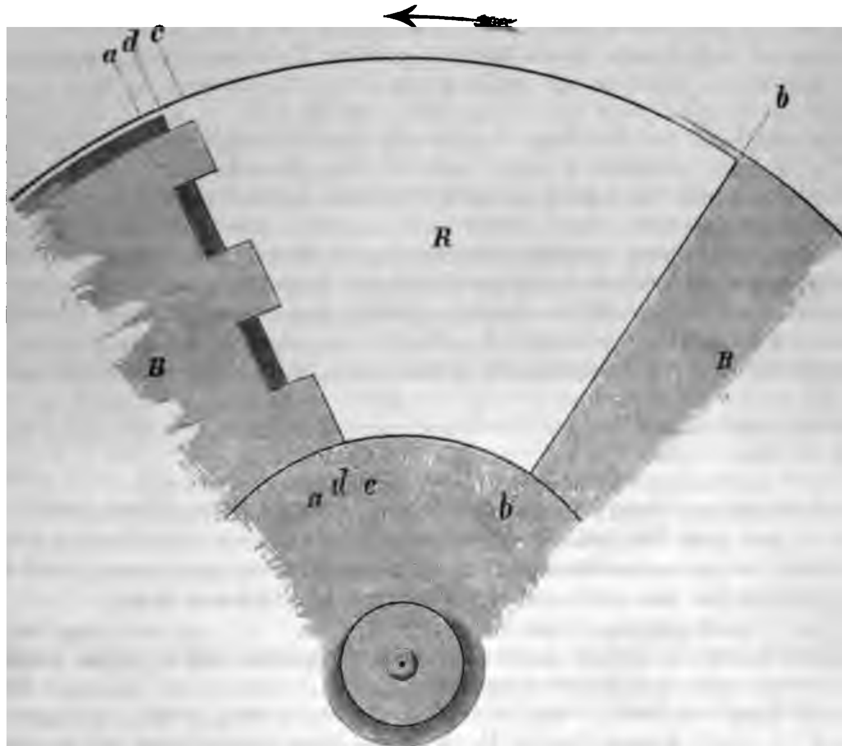



Fig. 174.

Bogen von dieser Farbe hinzu, dafür wurde ein gleicher Bogen von *R* weggenommen. In den Ausschnitten der Zinnen dagegen wurde nur ein schmaler Streifen *aa dd* von der Farbe *R* durch Schwarz weggenommen. Wenn die Farbe *B* etwas dunkler war, war da, wo sie zwischen *aa* und *cc* statt *R* auftrat, etwas Helligkeit verloren: um diesen Verlust für die andre Mischung zu compensiren, mufste auch hier etwas von der Farbe *R* durch Schwarz fortgenommen werden. Die Breite dieses schwarzen Streifens konnte verändert werden. Die Grenzen zwischen den äufseren Ringen, wo die Winkelwerthe der Zinnen am kleinsten sind, sind natürlich am undeutlichsten. Ich fand es vortheilhaft, gleichzeitig mehrere Grenzen von verschiedenen kleinen Abstufungen der Deutlichkeit vor Augen zu haben, um bei den Ver-

gleichungen diejenige herauszusuchen, die eben der Grenze des Wahrnehmbaren nächsten stand.

Wenn ein festes Verhältnifs der Helligkeit zwischen den beiden Farben *B* u *R* auch unter diesen Umständen bestände, so müfste sich auch ein festes Verhälti zwischen den beiden kleinen Bögen *ac* und *ad* finden lassen, welches in den Rin von verschiedenem Farbenton immer wieder gleiche Helligkeit herstellte, unabhän von dem Verhältnifs der beiden grofsen Sectoren *R* und *B*.

Nähme man also z. B. an, dafs Lichter gleicher Helligkeit, aber verschiede Farbentons durch Mischung von zwei Grundfarben nach der Formel

$$H = A \,.\, x + B \,.\, y$$

gegeben werden könnten, wo $A$, $B$ Constanten sind, $H$ eine Function der Hell keit $h$, und $x$, $y$ Quanta zweier beliebig gewählter Elementarfarben: so würde eine benachbarte Farbe in der Reihe gleich heller Mischungen

$$o = A \,.\, dx + B \,.\, dy$$

sein müssen, und das Verhältnifs von $dx : dy$ würde, unabhängig von den Werthen und $y$, wie der Helligkeit $h$ immer dasselbe sein; dasselbe würde von dem V hältnifs der Breite der beiden schmalen Farbenstreifen auf und zwischen den Zin unsrer Scheibe gelten.

Diese Vermuthung bestätigt sich nun aber nicht bei Ausführung des Versuc Es zeigt sich vielmehr, dafs der zum Theil mit Schwarz gedeckte Vorspru der helleren Farbe um so breiter gemacht werden mufs, je mehr v seiner Farbe schon der Farbe des Grundes eingemischt ist. Es w also bei der von mir beschriebenen Methode der Vergleichung zweier Helligkei — wir wollen sie die photometrische Methode nennen — die Wirkung Zusatzes einer Farbe auf die Helligkeit wesentlich durch den schon vorhande Vorrath dieser selben Farbe in der Mischung geschwächt.

Ich führe zunächst einige Beispiele solcher Versuche an:

1. **Grün** und **Roth**, Breite $ac = 4{,}5$ mm. Gleiche Helligkeit und das Mi mum des Unterschieds erhielt ich
   a) für rothen Grund bei 2,5 mm Breite des Grün;
   b) für halb roth, halb grünen Grund bei 2.75 mm Grün;
   c) für grünen Grund bei 3,75 mm Grün.

Der Kreis von 50 mm Radius war eben noch wahrnehmbar, etwas deutlich bei halb grünem, halb rothem Grunde.

2. **Blau** und **Roth**, Breite $ac = 4$ mm. Gleich helle Ringe
   a) auf blauem Grunde für 1,25 mm Roth gegen 4 mm Blau;
   b) auf halb rothem, halb blauem Grunde 1,75 mm Roth;
   c) auf rothem Grunde 3 mm Roth.

Bei *a* und *b* war der Kreis von 60 mm Radius schwach zu erkennen, bei nur der von 50 mm.

3. **Blau** und **Grün**, Breite der Ausschnitte 5,5 mm. Gleich helle Ringe
   a) auf blauem Grunde, bei 1,5 mm Grün gegen 5,5 mm Blau;
   b) auf halb blauem, halb grünem Grunde 1,75 mm Grün;
   c) auf grünem Grunde 2,25 mm Grün.

Sichtbar war der Kreis von 50 mm Radius, aber sehr schwach, am schwächsten bei

Es zeigt sich ohne Ausnahme, dafs der Streifen von veränderlicher Breite gleichfarbigem Grund breiter genommen werden mufs als auf gemischtem Grund und auf diesem breiter als auf dem Grunde der ungemischten andern Farbe.

Die Reihe der Helligkeiten der drei gewählten Farben ist offenbar:

Grün > Roth > Blau.

Bei den stärkeren Helligkeitsdifferenzen mit Blau sind die Ringe auf dem helleren Grunde weniger sichtbar; bei der schwächeren Differenz Roth Grün sind die Ringe auf den reineren Farben weniger sichtbar, als auf dem Gemisch.

Da aber die gebrauchten Pigmentfarben überhaupt gemischtes Licht aus fast allen Gegenden des Spectrums geben, ist es nicht auffallend, dafs sie sich theilweise immer gegenseitig schwächen, und dafs die zackige Figur jeder Farbe auf dem farbigen Felde der andern Farbe nicht ganz so deutliche Ringe giebt, wie sie auf schwarzem Grunde geben würde. Aber sehr grofs ist der Unterschied in der Empfindlichkeit nicht. Bei halb hell, halb schwarz getheiltem Grunde würden helle Streifen die Breite von etwa 2 mm für den Radius 60 mm haben müssen, um sicher erkannt zu werden. Dafs die erforderlichen Farbenstreifen bei unseren Versuchen 2 bis 3 mal so breit waren, giebt also noch keineswegs einen sicheren Beweis dafür, dafs die Empfindlichkeit gegen Farbenabstufungen erheblich geringer ist, als die für Helligkeitsstufen.

Es folgt nun aus diesen Versuchen, dafs, wenn wir auf diesem Wege von einer sehr gesättigten Farbe ausgehend eine Reihe gleich heller gemischter Farben suchen, indem wir immer nur zwei sehr nahe Glieder der Reihe mit einander vergleichen, das gesammte Quantum des gemischten Lichts in der Reihe solcher Farben nicht unverändert bleiben kann. Wählen wir die Einheiten für die Lichtquanta der beiden Endfarben so, dafs sie in gleicher Helligkeit erscheinen, so werden wir von möglichst gesättigtem Roth anfangend, durch Wegnahme eines kleinen Quantum Roth die Helligkeit viel weniger schwächen, als wir durch den Zusatz eines gleichen Quantum Blau sie verstärken, da letzres noch auf kein merkliches Quantum schon vorhandenen Blaus stöfst. Wir müfsten also weniger Blau zusetzen, als wir Roth wegnehmen. Dadurch wird die Summe der Lichtquanta kleiner werden. Dies wird beim Fortschritt zu Mischungen mit immer mehr Blau so weiter gehen müssen, bis endlich die beiden Farben nahe gleiche Quantität in der Mischung haben; dann wird man anfangen müssen, Blau in gröfserer Menge hinzuzusetzen, als man Roth wegnimmt. Das Gesammtquantum wird wieder steigen, bis wir beim reinen Blau angekommen sind.

Wir haben es hier offenbar mit einem ähnlichen Einflufs zu thun, wie er sich bei Abstufungen der Intensität ohne gleichzeitige Anwesenheit einer andern Farbe auf demselben Felde geltend macht. Gleiche kleine Zuwachse der Lichtmenge machen um so weniger Eindruck, je gröfser die schon auf dem Felde vorhandene Lichtmenge gleicher Art ist. In jenen Fällen messen wir den Eindruck ab an der Deutlichkeit der Wahrnehmung des Schattens, hier vergleichen wir zwei die Helligkeit steigernde Abstufungen zweier Farben auf demselben Grunde mit einander.

Diese Beobachtungen zeigen, dafs bei den verhältnifsmäfsig viel sichereren photometrischen Vergleichungen sehr ähnlicher Farben sich wesentlich abweichende Resultate von der unmittelbaren Vergleichung sehr verschiedener Farben ergeben.

Ich bemerke noch, dafs ich die meisten Versuche mit den rotirenden Scheiben bei Tageslicht wolkigen Himmels dicht am Fenster angestellt habe. Ich habe sie aber an sonnigen Tagen auch unter directer Sonnenbeleuchtung mit demselben Erfolge wiederholt. Dies, sowie der Umstand, dass bei Roth und Grün der Erfolg derselbe war, wie bei den beiden anderen Paaren, schliefst den Einflufs des Phänomens von PURKINJE aus. Denn bei Grün und Roth war die dunklere Farbe

diesem Einflufs weniger unterworfen. als die hellere. bei den anderen l
Paaren dagegen mehr.

Es zeigt sich hierbei durchgehends. dafs die Steigerung der Helli
welche durch Zusatz einer bestimmten Quantität farbigen Lichts he
gebracht wird. geringer ist auf einer gleichfarbigen Fläche. als auf
von sehr abweichender Farbe.

### Versuche mit prismatischen Farben.

Um diese Thatsache in noch anderer Weise zu prüfen. habe ich noch Versuche mit prismatischen Farben ausgeführt. Versuche. die bei methodi Durchführung wohl noch wichtige Ergebnisse erwarten lassen. Ich stellte nä ein Spektroskop mit Objectiv- und Ocularspalt so auf. dafs ich das Feld des gleichmäfsig mit lichtstarkem Violett des Sonnenlichts gefüllt sah. Um das Diffusion in den Gläsern zerstreute weisse Licht aus dem Felde gröfstenthe beseitigen, diente die Einschaltung eines blauen Glases zwischen Heliostatenspieg erstem Spalt. Die Helligkeit dieses Violett wurde so grofs gemacht. als es merkliche Störung seiner Reinheit anging; doch blieb es bequem erträglich fü Auge und blendete nicht. Gleichzeitig wurde von der dem Beobachter zugeke Seite des Prisma rothes Licht reflectirt. welches in zwei getrennten Bündeln durch Glasplatte und ein LUMMERsches Photometer gegangen war. Das letztere Instr wurde so eingestellt, dafs man den Helligkeitsunterschied der beiden Licht beim Ausschlufs des violetten Lichtes noch gerade erkennen konnte. Dann das violette Licht zugelassen, so dass beide Arten von Licht gleichzeitig im sichtbar waren. Der Erfolg war in der That der erwartete; die schwache U schiedsstufe des rothen Lichts war kaum weniger gut erkennbar, wenn sich Feld mit Violett überdeckte als vorher. Wenn man dagegen das ganze Fel Licht aus dem rothen Theile des Spectrum überdeckte, war schon eine rothe leuchtung von merklich geringerer Helligkeit. als das Violett gehabt hatte. reichend, um die Sichtbarkeit der Figur aus dem Photometer gänzlich aufzuh Auch Gelb und Grün tilgten die Sichtbarkeit des Unterschiedes der rothen F bei ziemlich mäfsigen Helligkeiten. Eine genauere Vergleichung der entspreche Helligkeitsstufen der verschiedenen Farben konnte mit den zur Zeit vorhan Apparaten noch nicht durchgeführt werden.

Ich bemerke hierbei noch, dafs man vollkommene Unabhängigkeit der W nehmbarkeit der schwachen Farbenstufen des Roth von der übergedeckten an Farbe nicht erwarten darf, da mancherlei schon besprochene und noch weite besprechende Erscheinungen zeigen, dafs auch die Endfarben des Spectrum je einer unvermischten Grundfarbe entsprechen. Aber der sehr grofse Untersc den ähnliche und weit verschiedene Farben hierbei erkennen lassen, tritt bei beschriebenen Versuchen doch sehr deutlich hervor.

Die hier besprochene verhältnifsmäfsige Unabhängigkeit der Deutlichkeit Farbenunterschieds von der Zumischung sehr heterogener Farben dehnt sich nicht auf hohe Lichtstärken aus, welche das Gefühl der Blendung hervorbri Dafs bei diesen die Empfindung für die Unterschiede der Lichtqualität stum wird, habe ich schon im § 19, Seite 284, 285, hervorgehoben. Bei höchster err barer Lichtstärke gehen alle prismatischen Farben in kaum noch unterschied gelbliches oder bläuliches Weifs über.

**Da dabei die gröfsten Unterschiede des Farbentons nahehin vollständig ver-swinden, kann es nicht zweifelhaft sein, dafs auch die von weniger verschiedenen rben bei viel mäfsigerer Helligkeit verschwinden, was beim Gelb und Grün in der That ır leicht geschieht.** Daher wird jede gleichmäfsige Überdeckung jedes Felder-ares von geringem Farbenunterschiede, aber grofser Helligkeit mit andersfarbigem, ich starkem Licht der Unterscheidung nachtheilig sein.

Aus den Untersuchungen der Herren A. Koenig und Brodhun über die terschiedsschwellen geht für diese das Gleiche hervor. Wenn wir zwei ver-iedene Lichtstärken von Roth $r$ und $(r + dr)$, und zwei solche $b$ und $b + db$ ı blauem Licht haben, und alle an der oberen Grenze des Gebiets liegen, wo chner's Gesetz gilt, und $dr : r = db : b$ ist, so dafs die Unterschiede $dr$ und $db$ ich deutlich empfunden werden, so wird eine paarweise Vereinigung dieser Be-chtungen $(r + b)$ und $(r + b + dr + db)$ zwei Helligkeiten geben, deren terschied nach den genannten beiden Beobachtern, welches auch die beiden rbenpaare sein mögen, undeutlicher ist, als der von $r$ und $(r + dr)$, so wie der iehe von $(b + db)$. Also hat Zusatz der Farbe $r$ und $(r + dr)$ der Wahr-mung ihres Unterschiedes geschadet, trotzdem wir hier zu dem lichtstärkeren n auch lichtstärkeres Roth gesetzt haben.

Dafs die neu hinzukommende Farbe, je nach ihrer Lichtstärke, bald einen ır geringen, bald einen sehr deutlich erkennbaren Einflufs auf die Unterscheid-rkeit schon bestehender kleiner Abstufungen einer anderen Farbe hat. kann einen sonderen physiologischen Grund haben. Wir wissen aus den Untersuchungen über Erregungen des Nervensystems im Allgemeinen und aus denen über die licht-npfindlichen Substanzen des Auges insbesondere, dafs dieselben durch Erregung rändert und unter dem Einflufs des arteriellen Bluts wieder in ihre normale schaffenheit und Leistungsfähigkeit zurückgeführt werden. Wir dürfen daraus hliefsen, dafs Licht bestimmter Art, welches nur eine einzige der lichtempfindlichen ıbstanzen zersetzt, auch nur deren eigene Leistungsfähigkeit beeinträchtigt, und e der nicht erregten benachbarten Nervenapparate ungestört läfst, *so lange da-ırch keine wesentliche Verminderung des der betreffenden Netz-autstelle zur Verfügung stehenden arteriellen Sauerstoffs eintritt.* obald letzteres aber geschieht, wird auch die Thätigkeit benachbarter Nerven-lemente gestört werden können, die aus denselben Capillaren ihren Sauerstoff be-iehen. Dies würde dem entsprechen, was wir im Auge wahrnehmen. Bei mäfsigem icht finden wir, dafs die Feinheit der Empfindung einer Grundfarbe nur unwesent-ch, unter reinen Bedingungen vielleicht gar nicht, gestört wird durch gleichzeitige räftige Erregung einer andern Grundfarbe in derselben Netzhautstelle. Bei starkem icht, welches den zugeführten Sauerstoffvorrath schneller verzehrt, tritt eine solche törung durch die zweite Grundfarbe dagegen deutlich ein.

*Der Begriff der Helligkeit.* Ich suche hier zunächst zusammen-ustellen, was man über die verschiedenen Fälle der Vergleichung der Hellig-eit zweier belichteter Felder Gemeinsames aussagen kann.

1) Die Helligkeit ist eine Gröfse, von der ein gewisser Grad jedem ichteindruck des Auges beizulegen ist. Die Helligkeit hat den wesentlichen harakter einer Gröfse, dadurch dafs man der Regel nach (Ausnahmen vor-ehalten, wo man sich der Gleichheit nähert) bestimmt erklären kann: „Die Helligkeit des Feldes $A$ ist gröfser, als die des Feldes $B$“, und es scheint

auch eine ausnahmlos richtige Regel zu sein, dafs wenn zu einer gegebenen farbigen Beleuchtung eine zweite anders farbige defselben Feldes hinzukommt, die Summe beider eine gröfsere Helligkeit hat, als jede einzelne.

Dagegen ist zu bemerken, dafs die Anerkennung der Gleichheit zweier Helligkeiten verschiedenfarbigen Lichtes auffallend unsicher ist, ja dafs die letzten Arbeiten von Herrn A. König es zweifelhaft machen, ob nicht weitgehende Differenzen in der Helligkeitsschätzung selbst zwischen normalen trichromatischen Augen vorkommen, wenn auch einzelne Gruppen von Beobachtern sich finden, deren Aussagen ziemlich gut mit einander übereinstimmen.

Die eigentlich charakteristische Definition der Gleichheit zweier Gröfsen, dafs nämlich zwei, die einer dritten gleich sind, unter sich gleich sind, werden wir auf Helligkeiten höchstens in der Form anwenden können: „Wenn $A > B$, und $B > C$, so ist $A > C$“.

Ich persönlich mufs wiederholt erklären, dafs ich mir ein Urtheil über Gleichheit von heterochromen Helligkeiten kaum zutraue, höchstens über Gröfser und Kleiner in extremen Fällen. Aber ich gebe zu, dafs man von zwei verschiedenfarbigen Feldern das eine immer so viel verdunkeln kann, dafs kein Zweifel bleibt: nun sei das andere heller.

Sicher fühle ich mich in der Beurtheilung des Unterschiedes fast nur in dem Falle, wo die eine Beleuchtung die Summe ist von der andern und einer hinzugekommenen dritten. Ist die Menge dieser dritten klein gegen die erste, so giebt sie zwar nur einen kleinen Helligkeitsunterschied, aber auch nur einen kleinen Farbenunterschied.

Für mich selbst habe ich durchaus den sinnlichen Eindruck, dafs es sich bei heterochromen Helligkeitsvergleichungen nicht um Vergleichung einer Gröfse, sondern um das Zusammenwirken von zweien, Helligkeit und Farbengluth, handelt, für die ich keine einfache Summe zu bilden weifs, und die ich auch wissenschaftlich noch nicht definiren kann.

Ich sehe mich also bei diesem Gegenstande vielfach darauf beschränkt zu referiren, was vertrauenswürdige Beobachter berichten.

2) Eine erheblichere Sicherheit der Vergleichung zweier Helligkeiten ist nur bei einander sehr ähnlichen Farben möglich, aber auch bei solchen nie so grofs, wie bei ganz gleichen. Ob aber bei diesen Vergleichungen ähnlichster Farben nicht Ermüdungserscheinungen des Auges Einflufs gewinnen, die wir bei den Nachbildern besprechen werden, bleibt fraglich.

3) Wenn die Farbenwerthe zweier Lichtgemische einander vollkommen gleich sind, haben sie genau dasselbe Aussehen und auch genau dieselbe Helligkeit. Man kann daraus schliefsen, dafs die Helligkeit eine Function der drei Farbenwerthe eines Lichtgemisches sei und dafs Grassmann's Satz: Gleich aussehende Lichter gemischt geben gleich aussehende Mischungen“, auch noch dahin erweitert werden kann: „Gleich aussehende Paare von Lichtern gemischt geben gleiche Helligkeit der Mischung.“

Aber die Helligkeiten sind nicht mehr lineare Functionen der Farben-

werthe: dem widerspricht Purkinje's Phänomen. Auch dürfen wir nicht den Satz aufstellen: „Gleich helle Lichter addirt, geben gleich helle Mischungen". Denn gleich helles Roth und Blau verdoppelt, geben das Roth heller als das Blau.

Nur an der unteren Grenze der Lichtstärken, wo die Verschiedenheit der Farben verschwindet, ist anzunehmen, dafs die Helligkeit oder eine Function derselben einen linearen Ausdruck durch die Farbenwerthe zulasse.

Da die Helligkeit keine lineare Function der Farbenwerthe sein kann, folgt, dafs sie eine Empfindung sei, die auf einer verwickelteren Art des Zusammenwirkens der drei elementaren Farbeneindrücke beruht.

Dafs ein solches Zusammenwirken der in das Auge einfallenden Lichtmengen stattfindet, zeigen ganz zweifellos die motorischen Erscheinungen am Auge, die von der Helligkeit abhängen. Die auffallendste und regelmäfsigste derselben ist die Wirkung auf die Pupille, wobei ein Zusammenwirken sämmtlicher Lichtmengen, die in beide Augen eingefallen sind, zu Stande kommt, am stärksten aber verhältnifsmäfsig diejenigen wirken, welche die gelben Flecke der beiden Netzhäute getroffen haben. Durch die photographische Abbildung der Iris des menschlichen Auges bei Magnesiumblitzen ist von Herrn Cl. du Bois-Reymond[1] nachgewiesen worden, dafs eine Adaptirung der Pupille bis zu den geringsten Lichtstärken hinab stattfindet; sie ist in absoluter Dunkelheit so weit, dafs die Iris hinter dem Cornealrande verschwindet. Diese Regulirung der Pupillenweite hat in hohem Grade den Charakter organischer Zweckmäfsigkeit. Bei den höchsten Helligkeiten ist die Pupille eng, und das Auge wird gegen den Einflufs überflüssig starken und schädlichen Lichtes geschützt. Andererseits kommt in Betracht, dafs mit engeren Lichtkegeln im Allgemeinen schärfere Netzhautbilder zu erzielen sind. Wir haben aber oben schon gesehen, dafs die Sehschärfe, so weit sie von der Empfindungsweise der Netzhaut abhängt, mit abnehmender Beleuchtung abnimmt. Es ist also, wenn auch bei schwachen Beleuchtungen möglichst viel erkannt werden soll, nothwendig, eine bestimmte Ausgleichung zu treffen zwischen der optischen Bildschärfe, die durch die Verengerung der Pupille verbessert wird und dem Durchmesser der Pupille, welcher die Lichtmenge und dadurch die Sehschärfe bestimmt. Dadurch ergiebt sich hier schon, dafs Farben, welche bei gleicher Verminderung der objectiven Lichtmenge gröfsere Sehschärfe zeigen, was, wie oben erwähnt, wahrscheinlich wesentlich mit feinerer Stufenempfindlichkeit zusammenhängt, bei etwas engerer Pupille noch mit Vortheil gebraucht werden können, und also reflectorisch auf die Pupille wie hellere Farben wirken müfsten.

Nun wäre es nach physiologischen Gesetzen allerdings nicht nothwendig, dafs wir diese Empfindung, die zu der Reflexbewegung der Iris Anlafs giebt, fühlen müfsten. In der That aber fühlen wir bei sehr grofsen Lichtinten-

[1] Cl. du Bois-Reymond, Über Photographien der Augen bei Magnesiumblitz. Archiv für Physiologie. 1888. S. 384 u. 385. Verhandl. d. Physiologischen Gesellschaft zu Berlin. 23. März 1888.

Lichteinheiten wenigstens für trichromatische Augen nicht möglich ist, selbst innerhalb der geringen Genauigkeitsgrade, welche die heterochrome Photometrie überhaupt zuläfst. Da aber mehrere Reihen von Messungen nach solchen Einheiten ausgeführt worden sind, ist es wünschenswerth sie zu benennen. Ich habe dafür einstweilen den Namen der äquilucenten Lichteinheiten oder Einheiten gleicher Helligkeiten vorgeschlagen.

Die schon angeführten Untersuchungen von A. König und E. Brodhun über die Unterschiedsschwellen der Spectralfarben sind nach solchen äquilucenten Einheiten berechnet, während bei den Untersuchungen von A. König und C. Dieterici über die Vertheilung der Grundempfindungen im Spektrum nach ganz andern Einheiten gerechnet ist. Lichtquanta der gewählten Elementarfarben sind nämlich als gleich gesetzt worden, wenn sie zusammen Weifs gaben. Das sind also Quanta von gleicher färbender Kraft. Wir wollen die hiernach bestimmten Einheiten als colorimetrische oder Farbeneinheiten bezeichnen. Für Mischfarben würde dies colorimetrische Lichtquantum der Summe der entsprechenden Quanta der gewählten drei Grundfarben entsprechen.

Dafs diese beiden Arten von Lichteinheiten zu einander ein sehr verschiedenes Verhältnifs haben, ergab sich schon aus meinen ersten Mischungsversuchen mit Spectralfarben (S. 319 und 331), die ich unter Anwendung des Doppelspaltes angestellt hatte,[1] die damals gefundenen Verhältnisse der Helligkeiten waren:

| | Bei starkem Licht: | Bei schwachem Licht: |
|---|---|---|
| Violett zu Grüngelb | 1 : 10 | 1 : 5 |
| Indigo zu Gelb | 1 : 4 | 1 : 3 |
| Cyanblau zu Orange | 1 : 1 | 1 : 1 |
| Grünblau zu Roth | 1 : 0,44 | |

Neuere Bestimmungen dieser Verhältnisse ergeben sich aus den Beobachtungen, welche A. König und E. Brodhun über die scheinbare Helligkeit der verschiedenen Theile des Spektrum gemacht haben, da beide für ihre Augen auch die Farbengleichungen der Spektralfarben bestimmt hatten. Für das dichromatische Auge von Brodhun stimmen die gefundenen Helligkeiten erträglich gut mit einer linearen Formel; dies gilt natürlich nur für so hohe Helligkeiten, die der Anzahl ihrer äquilucenten Lichteinheiten entsprechen. Waren $K$ und $W$ die Quanta der kalten und warmen Farbe (spektrales Violett und Roth) deren Mischung gleichaussehend der Spektralfarbe war, so konnte ihre Helligkeit $J$ gesetzt werden

$$J = 1{,}018 \,.\, W + 0{,}03915 \,.\, K$$

woraus folgt, dafs die Helligkeiten complementarer Mengen der beiden Farben sich wie 26 : 1 verhalten.

Die Abweichungen zwischen Beobachtung und Rechnung waren hierbei wenigstens nicht viel gröfser, nämlich bis 6 % reichend, als die mittleren Fehler der Helligkeitsvergleichungen sehr differenter Farben überhaupt. Übrigens beziehen sich die

[1] *H. Helmholtz*, *Pogg. Ann.* Bd. 94. S. 19.

Beobachtungszahlen auf das Spectrum des Gaslichts, welches nicht als unveränderlich angesehen werden kann.

Die entsprechenden Beobachtungen für das trichromatische Auge von A. König ergeben für die Helligkeit gleicher Farbenwerthe von Violett und Roth das Verhältnifs 1 : 13,7, während die Helligkeit des von ihm supponirten elementaren Grün so gering erschien, dafs bei der verhältnifsmäfsig gröfseren Ungenauigkeit der Mischungs- wie der Helligkeitsverhältnisse im trichromatischem Auge eine Bestimmung nicht gewonnen werden konnte. Im Roth und Gelbgrün des Spectrum von der Wellenlänge 670 $\mu\mu$ bis 545 $\mu\mu$, wo der Einflufs des Violett beginnt, war die Helligkeit, so weit erkennbar, sogar nicht erheblich von der Proportionalität mit der des Roth allein abweichend. Zu bemerken ist dabei, dafs dieses supponirte elementare Grün, wie *Fig. 139* S. 340 zeigt, weit jenseits der Curve der Spectralfarben liegt, und dafs also diese letzteren nur kleine Bruchtheile desselben enthalten, die, wenn sie nicht erheblich heller sind als gleiche Farbenquanta des Violett, sich unter den Unregelmäfsigkeiten der Beobachtungszahlen leicht verstecken konnten. Bei einem Rothblinden (Dr. Ritter) fiel die Helligkeitscurve des Spectrum ziemlich genau mit der Grüncurve zusammen.

Um übrigens das von Herrn Brodhun seiner Rechnung zu Grunde gelegte Gesetz für die Helligkeit gemischter Farben auch an andern Farben von grofsem Unterschied des Farbentons zu prüfen, ersuchte ich Herrn E. Brodhun, der durch sein dichromatisches Farbensystem in dieser Hinsicht begünstigt ist, directe Helligkeitsvergleichungen am Farbenkreisel zu machen. Er verglich zunächst die Helligkeit von zwei rothen und zwei blauen Papieren mit Grau, welches auf dem Farbenkreisel aus einem hellen Grau und Schwarz gemischt wurde. Dann stellte er Farbengleichungen her zwischen einem Roth und einem Blau einerseits, Grau und Schwarz andrerseits, und verglich den durch diesen Versuch gefundenen Werth des Grau mit dem aus den ersten Bestimmungen berechneten. Es fand sich:

1) Helles Roth $R_h = \frac{160}{360}$ Grau,

2) dunkles Roth $R_d = \frac{110}{360}$ „

3) helles Blau $B_h = \frac{60}{360}$ Grau,

4) dunkles Blau $B_d = \frac{25}{360}$ „

Farbengleichungen, beobachtet:

I. 121 Gr. $= 127\ B_h + 233\ R_h$, berechnet $= 125$ Gr.

II. 118 Gr. $= 95\ B_d + 265\ R_h$, „ $= 125$ Gr.

III. 98 Gr. $= 94\ B_h + 266\ R_d$, „ $= 97$ Gr.

IV. 97 Gr. $= 70\ B_d + 290\ R_d$, „ $= 94$ Gr.

Die Übereinstimmung mit dem linearen Gesetz ist hierbei eine verhältnifsmäfsig gute.

Vergleichung der Helligkeit sehr wenig unterschiedener Farben.

Bei dieser grofsen Unsicherheit der directen Vergleichung der Helligkeiten sehr verschiedenartiger Farben, von der ich namentlich mich selbst persönlich nicht frei machen kann, habe ich versucht einen andren Weg einzuschlagen, der auf der Vergleichung sehr ähnlicher Farben beruht. Diese ist, wie schon die langjährige Erfahrung bei photometrischen Messungen lehrt, verhältnifsmäfsig viel sicherer und leichter auszuüben, und ich durfte hoffen durch Verfolgung eines continuirlichen Übergangs zwischen verschiedenen Farben, die alle auf gleiche Helligkeit gebracht wurden, bessere Helligkeitsgleichungen zwischen den Endfarben zu gewinnen.

Ich ging dabei aus von dem Grundphänomen, welches in der Photometrie benutzt wird, wenn es sich darum handelt zwei etwas verschieden gefärbte Lichter ihrer Helligkeit nach zu vergleichen. Wenn man die Lichtstärke des einen von ihnen allmälig verändert, so werden sie selbstverständlich niemals ganz gleich, aber man gelangt doch zu einer Einstellung, bei welcher der genannte Unterschied ein Minimum der Deutlichkeit erreicht. Man pflegt das Verhältnifs der Lichtstärken, welches dieser Einstellung entspricht, photometrisch als das Verhältnifs gleicher Helligkeit zu betrachten.

Ich habe es mir nun zunächst zur Aufgabe gestellt, diese Einstellung auf das Minimum der Erkennbarkeit des Unterschiedes bei einer Reihe von Mischfarben, die aus denselben Farbenelementen durch Mischung auf der Farbenscheibe erhalten wurden, durchzuführen. Die eine Mischfarbe, und zwar die etwas dunklere, blieb dabei unverändert, die andre erlitt kleine Veränderungen in ihrer Helligkeit und Mischung, indem man sehr schmale schwarze Sectoren sich einschieben liefs, um sie ein wenig dunkler zu machen, bis man die Grenzen der Ringe, in denen sich diese Farben zeigten, möglichst schwer erkennbar gemacht hatte, wobei sie dann auch gleich hell erschienen. Die dazu erforderlichen Verhältnisse wurden notirt.

Die Farbenmischungen füllten abwechselnd fünf concentrische Ringe auf der Scheibe. Die Kreisscheiben waren aus farbigen Papieren von möglichst gesättigter Farbe, aber nicht glänzender Oberfläche geschnitten; sie waren längs eines Radius gespalten nach der Methode von Maxwell, um die Winkel beliebig ändern zu können. In umstehender Figur 174 sind die hervorstehender Ränder der gespaltenen Scheiben abgebildet, wie sie auf deren vorderer Fläche sichtbar waren. Am oberen Umfange der Figur ist jeder vorliegenden Scheibe ein etwas kleinerer Radius gegeben, um sichtbar zu machen, wie sie zwischen einanderliegen. In Wirklichkeit waren die Scheiben hier durch congruente Kreislinien von gleichem Radius begrenzt.

Die Scheibe von etwas hellerer Farbe *R* und die schwarze haben einen einfachen radialen Einschnitt, erstre bei *bb*, letztre bei *dd*. Dagegen hat die Scheibe von dunklerer Farbe *B* eine mit zinnenförmigen Vorsprüngen versehene Grenzlinie zwischen *aa* und *cc*. Ersteres ist ein Radius, letzteres aber ist eine Parallele zu diesem Radius, so dafs die Winkelwerthe der Bögen zwischen *aa* und *cc* für die inneren Kreise gröfser werden, als für die äufseren. Die schwarze Scheibe wurde ebenfalls so eingelegt, dafs ihre Grenzlinie *dd* nicht genau die Lage eines Radius hatte, sondern parallel dem dicht daneben liegenden Radius *aa* lag, und somit der

schwarze Streifen, der im Grunde der zinnenartigen Ausschnitte hervorsah, überall dieselbe Breite hatte, und überall die Höhe der Zinnen um den gleichen Bruchtheil verkleinerte. Die Lage des Radius *b* konnte beliebig um fast den ganzen Umfang verschoben werden, mit Ausschlufs des von den Zinnen eingenommenen Streifens, so dafs man jede der beiden Farben *R* und *B* fast rein erscheinen lassen konnte, oder nach Wahl alle möglichen Abstufungen ihrer Mischung. Zu der durch die beiden zwischen den Radien *bb* und *aa* liegenden Sectoren bestimmten Farbenmischung kam dann in den bis *cc* reichenden Vorsprüngen des Feldes *B* ein kleiner

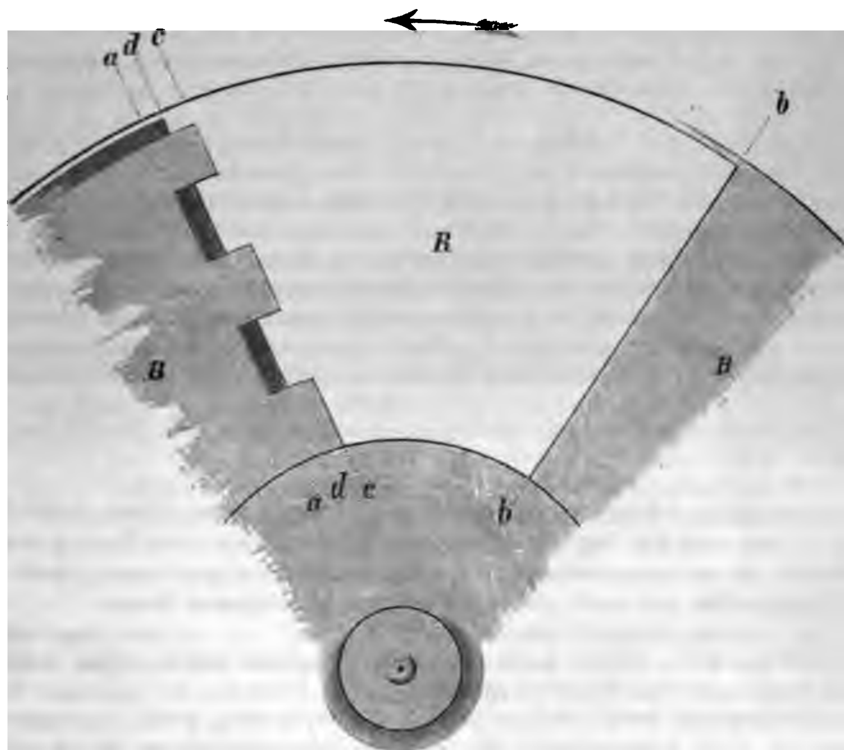



Fig. 174.

Bogen von dieser Farbe hinzu, dafür wurde ein gleicher Bogen von *R* weggenommen. In den Ausschnitten der Zinnen dagegen wurde nur ein schmaler Streifen *aa dd* von der Farbe *R* durch Schwarz weggenommen. Wenn die Farbe *B* etwas dunkler war, war da, wo sie zwischen *aa* und *cc* statt *R* auftrat, etwas Helligkeit verloren: um diesen Verlust für die andre Mischung zu compensiren, mufste auch hier etwas von der Farbe *R* durch Schwarz fortgenommen werden. Die Breite dieses schwarzen Streifens konnte verändert werden. Die Grenzen zwischen den äufseren Ringen, wo die Winkelwerthe der Zinnen am kleinsten sind, sind natürlich am undeutlichsten. Ich fand es vortheilhaft, gleichzeitig mehrere Grenzen von verschiedenen kleinen Abstufungen der Deutlichkeit vor Augen zu haben, um bei den Ver-

gleichungen diejenige herauszusuchen, die eben der Grenze des Wahrnehmbaren am nächsten stand.

Wenn ein festes Verhältnifs der Helligkeit zwischen den beiden Farben *B* und *R* auch unter diesen Umständen bestände, so müfste sich auch ein festes Verhältnifs zwischen den beiden kleinen Bögen *ac* und *ad* finden lassen, welches in den Ringen von verschiedenem Farbenton immer wieder gleiche Helligkeit herstellte, unabhängig von dem Verhältnifs der beiden grofsen Sectoren *R* und *B*.

Nähme man also z. B. an, dafs Lichter gleicher Helligkeit, aber verschiedenen Farbentons durch Mischung von zwei Grundfarben nach der Formel

$$H = A \, . \, x + B \, . \, y$$

gegeben werden könnten, wo $A$, $B$ Constanten sind, $H$ eine Function der Helligkeit $h$, und $x$, $y$ Quanta zweier beliebig gewählter Elementarfarben: so würde für eine benachbarte Farbe in der Reihe gleich heller Mischungen

$$o = A \, . \, dx + B \, . \, dy$$

sein müssen, und das Verhältnifs von $dx : dy$ würde, unabhängig von den Werthen $x$ und $y$, wie der Helligkeit $h$ immer dasselbe sein; dasselbe würde von dem Verhältnifs der Breite der beiden schmalen Farbenstreifen auf und zwischen den Zinnen unsrer Scheibe gelten.

Diese Vermuthung bestätigt sich nun aber nicht bei Ausführung des Versuchs. Es zeigt sich vielmehr, dafs **der zum Theil mit Schwarz gedeckte Vorsprung der helleren Farbe um so breiter gemacht werden mufs, je mehr von seiner Farbe schon der Farbe des Grundes eingemischt ist.** Es wird also bei der von mir beschriebenen Methode der Vergleichung zweier Helligkeiten — wir wollen sie die photometrische Methode nennen — die Wirkung des Zusatzes einer Farbe auf die Helligkeit wesentlich durch den schon vorhandenen Vorrath dieser selben Farbe in der Mischung geschwächt.

Ich führe zunächst einige Beispiele solcher Versuche an:

1. **Grün** und **Roth**, Breite $ac = 4{,}5$ mm. Gleiche Helligkeit und das Minimum des Unterschieds erhielt ich
   a) für rothen Grund bei 2,5 mm Breite des Grün;
   b) für halb roth, halb grünen Grund bei 2,75 mm Grün;
   c) für grünen Grund bei 3,75 mm Grün.

Der Kreis von 50 mm Radius war eben noch wahrnehmbar, etwas deutlicher bei halb grünem, halb rothem Grunde.

2. **Blau** und **Roth**, Breite $ac = 4$ mm. Gleich helle Ringe
   a) auf blauem Grunde für 1,25 mm Roth gegen 4 mm Blau;
   b) auf halb rothem, halb blauem Grunde 1,75 mm Roth;
   c) auf rothem Grunde 3 mm Roth.

Bei *a* und *b* war der Kreis von 60 mm Radius schwach zu erkennen, bei *c* nur der von 50 mm.

3. **Blau** und **Grün**, Breite der Ausschnitte 5,5 mm. Gleich helle Ringe
   a) auf blauem Grunde, bei 1,5 mm Grün gegen 5,5 mm Blau;
   b) auf halb blauem, halb grünem Grunde 1,75 mm Grün;
   c) auf grünem Grunde 2,25 mm Grün.

Sichtbar war der Kreis von 50 mm Radius, aber sehr schwach, am schwächsten bei *c*.

Es zeigt sich ohne Ausnahme, dafs der Streifen von veränderlicher Breite auf gleichfarbigem Grund breiter genommen werden mufs als auf gemischtem Grunde, und auf diesem breiter als auf dem Grunde der ungemischten andern Farbe.

Die Reihe der Helligkeiten der drei gewählten Farben ist offenbar:

Grün > Roth > Blau.

Bei den stärkeren Helligkeitsdifferenzen mit Blau sind die Ringe auf dem helleren Grunde weniger sichtbar; bei der schwächeren Differenz Roth Grün sind die Ringe auf den reineren Farben weniger sichtbar, als auf dem Gemisch.

Da aber die gebrauchten Pigmentfarben überhaupt gemischtes Licht aus fast allen Gegenden des Spectrums geben, ist es nicht auffallend, dafs sie sich theilweise immer gegenseitig schwächen, und dafs die zackige Figur jeder Farbe auf dem farbigen Felde der andern Farbe nicht ganz so deutliche Ringe giebt, wie sie auf schwarzem Grunde geben würde. Aber sehr grofs ist der Unterschied in der Empfindlichkeit nicht. Bei halb hell, halb schwarz getheiltem Grunde würden helle Streifen die Breite von etwa 2 mm für den Radius 60 mm haben müssen, um sicher erkannt zu werden. Dafs die erforderlichen Farbenstreifen bei unseren Versuchen 2 bis 3 mal so breit waren, giebt also noch keineswegs einen sicheren Beweis dafür, dafs die Empfindlichkeit gegen Farbenabstufungen erheblich geringer ist, als die für Helligkeitsstufen.

Es folgt nun aus diesen Versuchen, dafs, wenn wir auf diesem Wege von einer sehr gesättigten Farbe ausgehend eine Reihe gleich heller gemischter Farben suchen, indem wir immer nur zwei sehr nahe Glieder der Reihe mit einander vergleichen, das gesammte Quantum des gemischten Lichts in der Reihe solcher Farben nicht unverändert bleiben kann. Wählen wir die Einheiten für die Lichtquanta der beiden Endfarben so, dafs sie in gleicher Helligkeit erscheinen, so werden wir von möglichst gesättigtem Roth anfangend, durch Wegnahme eines kleinen Quantum Roth die Helligkeit viel weniger schwächen, als wir durch den Zusatz eines gleichen Quantum Blau sie verstärken, da letzres noch auf kein merkliches Quantum schon vorhandenen Blaus stöfst. Wir müfsten also weniger Blau zusetzen, als wir Roth wegnehmen. Dadurch wird die Summe der Lichtquanta kleiner werden. Dies wird beim Fortschritt zu Mischungen mit immer mehr Blau so weiter gehen müssen, bis endlich die beiden Farben nahe gleiche Quantität in der Mischung haben; dann wird man anfangen müssen, Blau in gröfserer Menge hinzuzusetzen, als man Roth wegnimmt. Das Gesammtquantum wird wieder steigen, bis wir beim reinen Blau angekommen sind.

Wir haben es hier offenbar mit einem ähnlichen Einflufs zu thun, wie er sich bei Abstufungen der Intensität ohne gleichzeitige Anwesenheit einer andern Farbe auf demselben Felde geltend macht. Gleiche kleine Zuwachse der Lichtmenge machen um so weniger Eindruck, je gröfser die schon auf dem Felde vorhandene Lichtmenge gleicher Art ist. In jenen Fällen messen wir den Eindruck ab an der Deutlichkeit der Wahrnehmung des Schattens, hier vergleichen wir zwei die Helligkeit steigernde Abstufungen zweier Farben auf demselben Grunde mit einander.

Diese Beobachtungen zeigen, dafs bei den verhältnifsmäfsig viel sichereren photometrischen Vergleichungen sehr ähnlicher Farben sich wesentlich abweichende Resultate von der unmittelbaren Vergleichung sehr verschiedener Farben ergeben.

Ich bemerke noch, dafs ich die meisten Versuche mit den rotirenden Scheiben bei Tageslicht wolkigen Himmels dicht am Fenster angestellt habe. Ich habe sie aber an sonnigen Tagen auch unter directer Sonnenbeleuchtung mit demselben Erfolge wiederholt. Dies, sowie der Umstand, dass bei Roth und Grün der Erfolg derselbe war, wie bei den beiden anderen Paaren, schliefst den Einflufs des Phänomens von PURKINJE aus. Denn bei Grün und Roth war die dunklere Farbe

diesem Einfluſs weniger unterworfen, als die hellere, bei den anderen beiden Paaren dagegen mehr.

Es zeigt sich hierbei durchgehends, daſs die Steigerung der Helligkeit, welche durch Zusatz einer bestimmten Quantität farbigen Lichts hervorgebracht wird, geringer ist auf einer gleichfarbigen Fläche, als auf einer von sehr abweichender Farbe.

### Versuche mit prismatischen Farben.

Um diese Thatsache in noch anderer Weise zu prüfen, habe ich noch einige Versuche mit prismatischen Farben ausgeführt, Versuche, die bei methodischer Durchführung wohl noch wichtige Ergebnisse erwarten lassen. Ich stellte nämlich ein Spektroskop mit Objectiv- und Ocularspalt so auf, daſs ich das Feld desselben gleichmäſsig mit lichtstarkem Violett des Sonnenlichts gefüllt sah. Um das durch Diffusion in den Gläsern zerstreute weisse Licht aus dem Felde gröſstentheils zu beseitigen, diente die Einschaltung eines blauen Glases zwischen Heliostatenspiegel und erstem Spalt. Die Helligkeit dieses Violett wurde so groſs gemacht, als es ohne merkliche Störung seiner Reinheit anging; doch blieb es bequem erträglich für das Auge und blendete nicht. Gleichzeitig wurde von der dem Beobachter zugekehrten Seite des Prisma rothes Licht reflectirt, welches in zwei getrennten Bündeln durch eine Glasplatte und ein LUMMERsches Photometer gegangen war. Das letztere Instrument wurde so eingestellt, daſs man den Helligkeitsunterschied der beiden Lichtfelder beim Ausschluſs des violetten Lichtes noch gerade erkennen konnte. Dann wurde das violette Licht zugelassen, so dass beide Arten von Licht gleichzeitig im Felde sichtbar waren. Der Erfolg war in der That der erwartete; die schwache Unterschiedsstufe des rothen Lichts war kaum weniger gut erkennbar, wenn sich das Feld mit Violett überdeckte als vorher. Wenn man dagegen das ganze Feld mit Licht aus dem rothen Theile des Spectrum überdeckte, war schon eine rothe Beleuchtung von merklich geringerer Helligkeit, als das Violett gehabt hatte, ausreichend, um die Sichtbarkeit der Figur aus dem Photometer gänzlich aufzuheben. Auch Gelb und Grün tilgten die Sichtbarkeit des Unterschiedes der rothen Felder bei ziemlich mäſsigen Helligkeiten. Eine genauere Vergleichung der entsprechenden Helligkeitsstufen der verschiedenen Farben konnte mit den zur Zeit vorhandenen Apparaten noch nicht durchgeführt werden.

Ich bemerke hierbei noch, daſs man vollkommene Unabhängigkeit der Wahrnehmbarkeit der schwachen Farbenstufen des Roth von der übergedeckten andern Farbe nicht erwarten darf, da mancherlei schon besprochene und noch weiter zu besprechende Erscheinungen zeigen, daſs auch die Endfarben des Spectrum nicht je einer unvermischten Grundfarbe entsprechen. Aber der sehr groſse Unterschied, den ähnliche und weit verschiedene Farben hierbei erkennen lassen, tritt bei den beschriebenen Versuchen doch sehr deutlich hervor.

Die hier besprochene verhältniſsmäſsige Unabhängigkeit der Deutlichkeit eines Farbenunterschieds von der Zumischung sehr heterogener Farben dehnt sich aber nicht auf hohe Lichtstärken aus, welche das Gefühl der Blendung hervorbringen. Daſs bei diesen die Empfindung für die Unterschiede der Lichtqualität stumpfer wird, habe ich schon im § 19, Seite 284, 285, hervorgehoben. Bei höchster erreichbarer Lichtstärke gehen alle prismatischen Farben in kaum noch unterschiedenes gelbliches oder bläuliches Weiſs über.

Da dabei die gröfsten Unterschiede des Farbentons nahehin vollständig verschwinden, kann es nicht zweifelhaft sein, dafs auch die von weniger verschiedenen Farben bei viel mäfsigerer Helligkeit verschwinden, was beim Gelb und Grün in der That sehr leicht geschieht. Daher wird jede gleichmäfsige Überdeckung jedes Felderpaares von geringem Farbenunterschiede, aber grofser Helligkeit mit andersfarbigem, gleich starkem Licht der Unterscheidung nachtheilig sein.

Aus den Untersuchungen der Herren A. Koenig und Brodhun über die Unterschiedsschwellen geht für diese das Gleiche hervor. Wenn wir zwei verschiedene Lichtstärken von Roth $r$ und $(r + dr)$, und zwei solche $b$ und $b + db$ von blauem Licht haben, und alle an der oberen Grenze des Gebiets liegen, wo Fechner's Gesetz gilt, und $dr : r = db : b$ ist, so dafs die Unterschiede $dr$ und $db$ gleich deutlich empfunden werden, so wird eine paarweise Vereinigung dieser Beleuchtungen $(r + b)$ und $(r + b + dr + db)$ zwei Helligkeiten geben, deren Unterschied nach den genannten beiden Beobachtern, welches auch die beiden Farbenpaare sein mögen, undeutlicher ist, als der von $r$ und $(r + dr)$, so wie der gleiche von $(b + db)$. Also hat Zusatz der Farbe $r$ und $(r + dr)$ der Wahrnehmung ihres Unterschiedes geschadet, trotzdem wir hier zu dem lichtstärkeren Blau auch lichtstärkeres Roth gesetzt haben.

Dafs die neu hinzukommende Farbe, je nach ihrer Lichtstärke, bald einen sehr geringen, bald einen sehr deutlich erkennbaren Einflufs auf die Unterscheidbarkeit schon bestehender kleiner Abstufungen einer anderen Farbe hat, kann einen besonderen physiologischen Grund haben. Wir wissen aus den Untersuchungen über die Erregungen des Nervensystems im Allgemeinen und aus denen über die lichtempfindlichen Substanzen des Auges insbesondere, dafs dieselben durch Erregung verändert und unter dem Einflufs des arteriellen Bluts wieder in ihre normale Beschaffenheit und Leistungsfähigkeit zurückgeführt werden. Wir dürfen daraus schliefsen, dafs Licht bestimmter Art, welches nur eine einzige der lichtempfindlichen Substanzen zersetzt, auch nur deren eigene Leistungsfähigkeit beeinträchtigt, und die der nicht erregten benachbarten Nervenapparate ungestört läfst, so lange dadurch keine wesentliche Verminderung des der betreffenden Netzhautstelle zur Verfügung stehenden arteriellen Sauerstoffs eintritt. Sobald letzteres aber geschieht, wird auch die Thätigkeit benachbarter Nervenelemente gestört werden können, die aus denselben Capillaren ihren Sauerstoff beziehen. Dies würde dem entsprechen, was wir im Auge wahrnehmen. Bei mäfsigem Licht finden wir, dafs die Feinheit der Empfindung einer Grundfarbe nur unwesentlich, unter reinen Bedingungen vielleicht gar nicht, gestört wird durch gleichzeitige kräftige Erregung einer andern Grundfarbe in derselben Netzhautstelle. Bei starkem Licht, welches den zugeführten Sauerstoffvorrath schneller verzehrt, tritt eine solche Störung durch die zweite Grundfarbe dagegen deutlich ein.

Der Begriff der Helligkeit. Ich suche hier zunächst zusammenzustellen, was man über die verschiedenen Fälle der Vergleichung der Helligkeit zweier belichteter Felder Gemeinsames aussagen kann.

1) Die Helligkeit ist eine Gröfse, von der ein gewisser Grad jedem Lichteindruck des Auges beizulegen ist. Die Helligkeit hat den wesentlichen Charakter einer Gröfse, dadurch dafs man der Regel nach (Ausnahmen vorbehalten, wo man sich der Gleichheit nähert) bestimmt erklären kann: „Die Helligkeit des Feldes $A$ ist gröfser, als die des Feldes $B$“, und es scheint

auch eine ausnahmlos richtige Regel zu sein, dafs wenn zu einer gegebenen farbigen Beleuchtung eine zweite anders farbige defselben Feldes hinzukommt, die Summe beider eine gröfsere Helligkeit hat, als jede einzelne.

Dagegen ist zu bemerken, dafs die Anerkennung der Gleichheit zweier Helligkeiten verschiedenfarbigen Lichtes auffallend unsicher ist, ja dafs die letzten Arbeiten von Herrn A. König es zweifelhaft machen, ob nicht weitgehende Differenzen in der Helligkeitsschätzung selbst zwischen normalen trichromatischen Augen vorkommen, wenn auch einzelne Gruppen von Beobachtern sich finden, deren Aussagen ziemlich gut mit einander übereinstimmen.

Die eigentlich charakteristische Definition der Gleichheit zweier Gröfsen, dafs nämlich zwei, die einer dritten gleich sind, unter sich gleich sind, werden wir auf Helligkeiten höchstens in der Form anwenden können: „Wenn $A > B$, und $B > C$, so ist $A > C$“.

Ich persönlich mufs wiederholt erklären, dafs ich mir ein Urtheil über Gleichheit von heterochromen Helligkeiten kaum zutraue, höchstens über Gröfser und Kleiner in extremen Fällen. Aber ich gebe zu, dafs man von zwei verschiedenfarbigen Feldern das eine immer so viel verdunkeln kann, dafs kein Zweifel bleibt: nun sei das andere heller.

Sicher fühle ich mich in der Beurtheilung des Unterschiedes fast nur in dem Falle, wo die eine Beleuchtung die Summe ist von der andern und einer hinzugekommenen dritten. Ist die Menge dieser dritten klein gegen die erste, so giebt sie zwar nur einen kleinen Helligkeitsunterschied, aber auch nur einen kleinen Farbenunterschied.

Für mich selbst habe ich durchaus den sinnlichen Eindruck, dafs es sich bei heterochromen Helligkeitsvergleichungen nicht um Vergleichung einer Gröfse, sondern um das Zusammenwirken von zweien, Helligkeit und Farbengluth, handelt, für die ich keine einfache Summe zu bilden weifs, und die ich auch wissenschaftlich noch nicht definiren kann.

Ich sehe mich also bei diesem Gegenstande vielfach darauf beschränkt zu referiren, was vertrauenswürdige Beobachter berichten.

2) Eine erheblichere Sicherheit der Vergleichung zweier Helligkeiten ist nur bei einander sehr ähnlichen Farben möglich, aber auch bei solchen nie so grofs, wie bei ganz gleichen. Ob aber bei diesen Vergleichungen ähnlichster Farben nicht Ermüdungserscheinungen des Auges Einflufs gewinnen, die wir bei den Nachbildern besprechen werden, bleibt fraglich.

3) Wenn die Farbenwerthe zweier Lichtgemische einander vollkommen gleich sind, haben sie genau dasselbe Aussehen und auch genau dieselbe Helligkeit. Man kann daraus schliefsen, dafs die Helligkeit eine Function der drei Farbenwerthe eines Lichtgemisches sei und dafs Grassmann's Satz: Gleich aussehende Lichter gemischt geben gleich aussehende Mischungen“, auch noch dahin erweitert werden kann: „Gleich aussehende Paare von Lichtern gemischt geben gleiche Helligkeit der Mischung.“

Aber die Helligkeiten sind nicht mehr lineare Functionen der Farben-

werthe: dem widerspricht PURKINJE's Phänomen. Auch dürfen wir nicht den Satz aufstellen: „Gleich helle Lichter addirt, geben gleich helle Mischungen". Denn gleich helles Roth und Blau verdoppelt, geben das Roth heller als das Blau.

Nur an der unteren Grenze der Lichtstärken, wo die Verschiedenheit der Farben verschwindet, ist anzunehmen, dafs die Helligkeit oder eine Function derselben einen linearen Ausdruck durch die Farbenwerthe zulasse.

Da die Helligkeit keine lineare Function der Farbenwerthe sein kann, folgt, dafs sie eine Empfindung sei, die auf einer verwickelteren Art des Zusammenwirkens der drei elementaren Farbeneindrücke beruht.

Dafs ein solches Zusammenwirken der in das Auge einfallenden Lichtmengen stattfindet, zeigen ganz zweifellos die motorischen Erscheinungen am Auge, die von der Helligkeit abhängen. Die auffallendste und regelmäfsigste derselben ist die Wirkung auf die Pupille, wobei ein Zusammenwirken sämmtlicher Lichtmengen, die in beide Augen eingefallen sind, zu Stande kommt, am stärksten aber verhältnifsmäfsig diejenigen wirken, welche die gelben Flecke der beiden Netzhäute getroffen haben. Durch die photographische Abbildung der Iris des menschlichen Auges bei Magnesiumblitzen ist von Herrn CL. DU BOIS-REYMOND[1] nachgewiesen worden, dafs eine Adaptirung der Pupille bis zu den geringsten Lichtstärken hinab stattfindet; sie ist in absoluter Dunkelheit so weit, dafs die Iris hinter dem Cornealrande verschwindet. Diese Regulirung der Pupillenweite hat in hohem Grade den Charakter organischer Zweckmäfsigkeit. Bei den höchsten Helligkeiten ist die Pupille eng, und das Auge wird gegen den Einflufs überflüssig starken und schädlichen Lichtes geschützt. Andererseits kommt in Betracht, dafs mit engeren Lichtkegeln im Allgemeinen schärfere Netzhautbilder zu erzielen sind. Wir haben aber oben schon gesehen, dafs die Sehschärfe, so weit sie von der Empfindungsweise der Netzhaut abhängt, mit abnehmender Beleuchtung abnimmt. Es ist also, wenn auch bei schwachen Beleuchtungen möglichst viel erkannt werden soll, nothwendig, eine bestimmte Ausgleichung zu treffen zwischen der optischen Bildschärfe, die durch die Verengerung der Pupille verbessert, wird und dem Durchmesser der Pupille, welcher die Lichtmenge und dadurch die Sehschärfe bestimmt. Dadurch ergiebt sich hier schon, dafs Farben, welche bei gleicher Verminderung der objectiven Lichtmenge gröfsere Sehschärfe zeigen, was, wie oben erwähnt, wahrscheinlich wesentlich mit feinerer Stufenempfindlichkeit zusammenhängt, bei etwas engerer Pupille noch mit Vortheil gebraucht werden können, und also reflectorisch auf die Pupille wie hellere Farben wirken müfsten.

Nun wäre es nach physiologischen Gesetzen allerdings nicht nothwendig, dafs wir diese Empfindung, die zu der Reflexbewegung der Iris Anlafs giebt, fühlen müfsten. In der That aber fühlen wir bei sehr grofsen Lichtinten-

[1] CL. DU BOIS-REYMOND, Über Photographien der Augen bei Magnesiumblitz. *Archiv für Physiologie.* 1888. S. 394 u. 395. *Verhandl. d. Physiologischen Gesellschaft zu Berlin.* 23. März 1888.

sitäten doch einen Lichtschmerz, der auch willkürliche Muskeln, die der Augenlider und einige des Gesichts, reflectorisch zur Abwehr bestimmt. Dieser Schmerz ist nicht von der gesammten Lichtwirkung auf beide Sehfelder abhängig, wie der Reflex auf die Iris, sondern ist localisirt, und ist um so unangenehmer, je mehr Licht auf ein kleines Stück der Netzhaut vereinigt ist. Wir suchen deshalb unsere künstliche Beleuchtung so einzurichten, dafs wir die Flammen oder elektrisch glühenden Kohlenfäden unserer Leuchtapparate mit transparenten Hüllen umgeben, welche verhindern, dafs ein scharfes optisches Bild der Lichtquelle vom Auge direct gesehen wird. Das Licht der Lichtquelle erscheint uns dann vielmehr gleichmäfsig über die gröfsere Fläche des durchscheinenden Schirms verbreitet. Gute Schirme dieser Art, z. B. matt geschliffene weifse Gläser, lassen nichts von dem Lichte der Lichtquelle verloren gehn, sie vertheilen es nur über eine gröfsere Fläche.

Übrigens findet doch auch für diese Art des Lichtschmerzes bis zu einem gewissen Grade eine Addition der verschiedenen Flächenstücke der Sehfelder statt. Wenn ein heller dünner Wolkenschleier über beschneiten Flächen oder auch nur über hellen Steinflächen im Hochgebirge liegt, ohne dafs irgend eine einzelne Stelle des Bildes gerade blendend hell erschiene, kann doch der Anblick der ausgebreiteten lichten Umgebung nach kurzer Zeit höchst quälend werden.

Die störenden Veränderungen, welche durch starke Beleuchtung in der Netzhaut vorübergehend hervorgerufen werden, werden wir in den nächsten Paragraphen noch zu besprechen haben. Der Lichtschmerz charakterisirt sich in diesen Fällen als ein organisches Schutzmittel, was uns zur Wahrung der Integrität des Organs aufruft.

Da der Lichtschmerz wohl ausnahmslos eine gleichzeitig vorhandene Lichtempfindung begleitet, die die specifische Modalität der Gesichtsempfindungen hat, so erscheint er uns als ein untrennbarer Theil von dieser. Wenn er aber als Schmerz fühlbar wird, hat er mehr den Charakter einer Tastempfindung, des Kopf- oder Augenschmerzes. Er kann sich übrigens in Krankheitszuständen, z. B. während eines Anfalls von Hemikranie zu verhältnifsmäfsig schwachen Lichteindrücken gesellen.

Die Frage nach der Modalität der Schmerzempfindung ist übrigens für sämmtliche Gebiete der Physiologie noch nicht klar erledigt. Schmerzempfindende Nerven kommen allen blutführenden Geweben des Körpers zu, auch den motorischen Nervenstämmen und denen der höheren Sinnesnerven, welche letzteren, durchschnitten, neben der specifischen Erregung auch noch Tastschmerz erregen.

Indessen kann diese Frage hier unerledigt bleiben. Es genügt uns hier, zu wissen, dafs die Spuren einer solchen Empfindung, die sich bei hoher Intensität zu Schmerz steigern kann und durch die Auslösung von Schutzvorrichtungen eine wichtige Rolle spielt, im Auge deutlich erkennbar vorhanden sind. Ihre Scheidung von den anderen specifischen Empfindungen des Auges können wir nicht glatt durchführen, weil wir überhaupt nur solche Empfindungs-

aggregate rein von einander zu scheiden im Stande sind, deren objective Erregungsmittel wir von einander trennen und einzeln auf unsere Sinne wirken lassen können. Nun wird durch alles objective Licht, welches aus Spectralfarben zusammengesetzt ist, nothwendig ein Gemisch von Empfindungen der drei Grundfarben erregt. Es enthalten also nothwendig alle Lichtempfindungen ein wechselndes, aber nie ganz fehlendes Quantum der Empfindung von Weifs, zu der sich dann noch ein oder zwei andere Farbenempfinduugen gesellen können. Durch diesen gemeinsamen Bestandtheil sind sie unmittelbar als verwandte Empfindungen schon charakterisirt. Dazu kommt nun die Empfindung des gemeinsam zum Schutze drängenden Schmerzes, die ja möglicher Weise, wenn auch in niederem Grade und wenig bestimmt in ihren Intensitätsstufen, bei allen Lichtstärken vorhanden sein kann, die noch zur Regulirung der Pupillenweite Veranlassung geben.

Die drei Urempfindungen der Netzhaut haben wir in den früheren Abschnitten unserer Untersuchung als drei unabhängig neben einander bestehende Empfindungsweisen kennen gelernt. Ein in ihrem Wesen gegründetes gemeinsames Maafs ihrer Intensitäten haben wir bis jetzt nicht gefunden. Das Maafs, was wir vielfach angewendet haben, indem wir solche Quanta der drei Grundfarben gleich grofs setzten, die zusammen das Weifs der Sonne ergaben, war nur durch Hereinziehung eines äufseren Objects gegeben.

Mit Berücksichtigung der Blendungserscheinungen gewinnen wir nun aber einen neuen Vergleichspunct zwischen ihnen. Quanta der Grundfarben, welche gleichen Grad des Lichtschmerzes erregen, bekommen dadurch eine bestimmte Gröfsenbeziehung zu einander. Ist die organische Zweckmäfsigkeit des Auges richtig durchgearbeitet, so werden Helligkeiten von gleichem Lichtschmerz gleich nachtheilig für das Auge und seinen Gebrauch sein. Wenn wir hierbei an der unteren Grenze des Gebiets der blendenden Helligkeiten bleiben, so werden wir zu erwarten haben, dafs, wenn der Eindruck der Helligkeit dem Lichtschmerz entspricht, gleich helle Quanta verschiedener Farben die Empfindung der Helligkeitsstufen gleich stark beeinträchtigen. Diese Erwartung hat sich in der That bei den auf S. 402 bis 408 angeführten Versuchen der Herren A. König und E. Brodhun bestätigt.

Von der Gröfse der unterscheidbaren Helligkeitsstufen hängt aber auch die Gröfse ab, die wir als Klarheit (s. S. 394) bezeichnet haben. Bei gleicher Klarheit werden wir gleich feine Modulirungen der Körperoberfläche durch Beschattung erkennen können, und auch die Sehschärfe für kleine Objecte ist offenbar der Hauptsache nach dadurch ebenfalls mitbestimmt.

Daraus ergiebt sich nun für die oben gegebene Voraussetzung über den Sinn des Begriffes der Helligkeit, dafs wir erwarten dürfen, bei gleicher Helligkeit auch gleich viel sehend zu erkennen. Hierin liegt offenbar die wichtigste praktische Bedeutung der Helligkeit.

Wenn wir nun abwärts steigen von der Helligkeit, welche dem Maximum der Klarheit entspricht, so nimmt die Klarheit immer mehr ab, ebenso die Sehschärfe. Beide aber nehmen in den brechbaren Farben viel langsamer

ab, als in den rothen und gelben. Dementsprechend erscheinen uns die ersteren bei gleicher Abnahme der objectiven Lichtstärke auch heller, als die letzteren (PURKINJE's Phänomen).

In dieser Beziehung würde es also mit den bekannten Thatsachen gut übereinstimmen, wenn man den Satz aufstellen wollte: Heller erscheint uns von zwei verschiedenfarbigen Beleuchtungen diejenige, in der wir mehr feine Einzelheiten erkennen können, oder wissen, dafs wir sie bei Anstellung des Versuchs würden erkennen können. Diese Auffassung würde auch die eigenthümliche Unsicherheit in der Schätzung der Helligkeit erklären, nur läfst sie sich nicht bis zu den Helligkeiten ausdehnen, die dem Maximum der Klarheit nahe kommen, weil da innerhalb grofser Breite der Lichtstärken die Klarheit dieselbe bleibt. Und in noch höheren Helligkeiten würde die Klarheit wieder abnehmen.

Wir können also in diesen Gebieten bei unserer Erklärung wenigstens für grofse Helligkeiten ein hinzukommendes neues Empfindungselement, den Lichtschmerz, nicht entbehren. Andererseits wäre die Annahme zur Zeit nicht zu widerlegen, dafs dieses andere Empfindungselement auch bei den niederen Lichtstärken nicht ganz fehlte, und, wenn auch nicht deutlich unterscheidbar, doch in dem Gesammteindruck des Auges mitwirkte. Sollte eine zweckmäfsige Regulirung der Pupillenweite davon abhängen, so würde es, wie schon oben bemerkt, für blaues Licht die Pupille stärker verengen, als für rothes, d. h. diese Empfindung der regulirenden Innervation, welche mit der der Helligkeit zusammenfiele, müfste PURKINJE's Phänomen hervorrufen.

Im Augenblick würde es mir verfrüht erscheinen, zwischen beiden Möglichkeiten entscheiden zu wollen.

E. BRÜCKES oben auf S. 422 erwähntes heterochromes Photometer, in welchem der Unterschied zweier Farben dadurch verkleinert werden soll, dafs man die scheinbare Gröfse der gefärbten kleinen Felder immer kleiner macht, und nun untersucht, bei welchem Grade der Beleuchtung die Zeichnung am ehesten verschwindet, führt bei der Anwendung auf sehr differente Farben eigenthümliche Schwierigkeiten durch die Farbenzerstreuung im Auge herbei. Eine von zwei Farben sehr differenter Brechbarkeit erscheint immer in Zerstreuungsbildern und breitet ihr Licht auch auf die anders gefärbten Felder aus. Von zwei nahehin gleich hellen Farben erscheint deshalb die schärfer gesehene heller, und je nach der Accommodation konnte ich in einem System gleichbreiter rother und blauer Streifen bald die rothen, bald die blauen heller sehen. Genau die mittlere Accommodation einzuhalten, bei der beide Farben gleiche Zerstreuungskreise geben, ist mir bei sehr feinen Streifen nicht gelungen.

Beziehungen zwischen Farbenempfindlichkeit und Helligkeitsempfindlichkeit. Bei den bisher besprochenen Untersuchungen über die wahrnehmbaren Abstufungen der Empfindungen hat man nur Helligkeitsabstufungen von Farben berücksichtigt, deren physikalische Qualität unverändert blieb. Aber dieselbe Fähigkeit des Auges, welche uns dies möglich macht, mufs uns nach TH. YOUNG's Hypothese auch in den Stand setzen den Unterschied zwischen zwei ungleich gemischten Farben zu erkennen, indem sie uns lehrt, dafs verschiedene Quanta der Grundfarben in

beiden stecken. Wenn die eine Farbe mehr Roth enthält, die andere mehr Blau, und die Empfindungen dieses Roth und Blau elementare, neben einander coexistirende Empfindungen sind: so würde der Unterschied des Farbentons zwei gleich heller Mengen dieser Farben constatirt sein, sobald wir eben erkennen können, dafs solche Unterschiede des Gehalts an Urfarben zwischen beiden vorhanden sind.

Es entsteht also die Frage: Können wir die Unterscheidung der verschiedenen Farbentöne auf die Unterscheidung der Intensitätsabstufungen der drei Urfarben in den verglichenen Farben begründen? Zeigt sich dabei derselbe Grad von Empfindlichkeit wie für Helligkeitsstufen, oder etwa ein gröfserer oder kleinerer?

Es tritt dabei nur eine neue Complication dadurch ein, dafs mindestens zwei, unter Umständen auch drei verschiedenartige Empfindungsunterschiede gleichzeitig vorkommen und zusammenwirken, um die beiden Felder unterscheidbar zu machen. Über die Art dieses Zusammenwirkens gleichzeitiger Empfindungsunterschiede verschiedener Art können wir nun nur eine wahrscheinliche Hypothese zu finden suchen und deren Berechtigung an ihren Resultaten prüfen.

Nennen wir $dE_1$, $dE_2$, $dE_3$ die Gröfse (Deutlichkeit) der Empfindungsunterschiede für die Elementarempfindungen, und $dE$ die Deutlichkeit des resultirenden Unterschiedes, so ist zunächst klar, dafs $dE$ nicht verschwinden kann, wenn nicht gleichzeitig:

$$dE_1 = dE_2 = dE_3 = 0.$$

Denn wenn auch nur eine dieser Gröfsen von Null verschieden ist, wird ein Unterschied der beiden Felder wahrnehmbar sein, der durch keine Combination mit qualitativ unterschiedenen anderen Empfindungen ausgeglichen werden kann.

Die einfachste Form der Functionen, welche diese Eigenschaft haben, ist diejenige, wo $dE$ eine nothwendig immer positive homogene Function zweiten Grades von den Gröfsen $dE_1$, $dE_2$ und $dE_3$ ist.

Da wir hier übrigens nur mit verschwindend kleinen Unterschieden zu thun haben, werden wir Glieder höherer Ordnung der kleinen Gröfsen nicht zu berücksichtigen haben.

Wenn wir nun, im Sinne der Voraschen Theorie weitergehend, voraussetzen, dafs hierbei nur die Bewufstseinsacte sich verbinden und gegenseitig verstärken, indem ein objectiver Unterschied derselben Felder durch zwei oder drei von einander unabhängige und verschiedenartige Eindrücke angezeigt wird, so werden wir aus der oben bezeichneten Function zweiten Grades die Producte der $dE_1$, $dE_2$ und $dE_3$ wegzulassen haben. Deren Existenz würde nämlich anzeigen, dafs die Art und Richtung der physiologischen Reize Einflufs auf die Endwirkung hätte, da je zwei der Producte ihr Vorzeichen ändern würden, wenn eine der Gröfsen $dE_1$ dasselbe änderte. Unsere jetzt festgehaltene Hypothese bezweckt im Gegentheil, auszudrücken, dafs es

bei der gegenseitigen Unterstützung dieser Eindrücke nur auf die Existenz und den Grad der Einwirkung auf die Aufmerksamkeit ankommt. Dies beschränkt uns also auf die Annahme

$$dE^2 = dE_1^2 + dE_2^2 + dE_2^3 \dots\dots\dots\dots\dots \Big\} \; 4$$

Die Coëfficienten müssen gleich Eins gesetzt werden, da, wenn zwei der drei Gröfsen rechts gleich Null gesetzt werden, $dE$ der Dritten gleich werden mufs.

Ich bemerke bei dieser Formel, dafs sie anzeigt, $dE$ könne über die Schwelle treten, auch wenn $dE_1$, $dE_2$ und $dE_3$ etwas darunter sind, (jedes einzelne aber $> \sqrt{1/3} = 0{,}57735$ vom Schwellenwerth). Wenn aber die Werthe der drei Variablen sehr verschieden werden, verliert sich der Einflufs der kleineren auf das Resultat mehr und mehr, da die Quadrate kleiner ächter Brüche noch kleinere ächte Brüche sind.

Allgemeinerer Ausdruck für FECHNERS Gesetz. Wir haben nunmehr die Gröfsen $dE_1$, $dE_2$, $dE_3$ durch ihre ihnen nach FECHNERS Gesetz zukommenden Werthe zu ersetzen. Da es für viele Fälle genügt, den einfachsten und ältesten Ausdruck dieses Gesetzes einzusetzen, in anderen wünschenswerth wird, etwas weitergehende Annäherungen zu erreichen, so setze ich

$$\left.\begin{aligned} dE_1 &= X \cdot \frac{dx}{x} \cdot \frac{1}{1 + lx + my + nz} \dots\dots\dots\dots \\ dE_2 &= Y \cdot \frac{dy}{y} \cdot \frac{1}{1 + lx + my + nz} \dots\dots\dots\dots \\ dE_3 &= Z \cdot \frac{dz}{z} \cdot \frac{1}{1 + lx + my + nz} \dots\dots\dots\dots \end{aligned}\right\} \; 4\text{a}$$

Die Gröfsen $X$, $Y$, $Z$ sollen Functionen von $x$, $y$, $z$ bedeuten, von denen wir wissen, dafs sie bei hohen Werthen der Lichtstärken $x$, $y$, $z$ nahin constant werden. Der letzte Factor in jeder Reihe bezeichnet den Einflufs der Blendung, entsprechend dem auf S. 412 in Gleichung 3 gebrauchten Factor $\frac{1}{1 + \varepsilon r}$. Nur war dieser Blendungsfactor hier in anderer Weise zu gestalten, da nach den Versuchen von A. KÖNIG und E. BRODHUN die Dämpfung für die verschiedenen Spectralfarben von dem Maximum ihrer Stufenempfindlichkeit ab für alle gleichmäfsig nahehin in demselben Verhältnisse wächst, und der betreffende Factor also gleiche Form für alle Farben haben mufs. Dafs ein solcher gemeinsamer Grad der Dämpfung möglich ist durch intensive Verzehrung des arteriellen Sauerstoffs habe ich schon oben erörtert. Da nach den genannten Beobachtern gleicher Grad der Dämpfung mit gleicher Helligkeit zusammenfällt, so würde $(lx + my + nz)$ auch eine Gröfse sein, die bei hohen Helligkeiten Function der Helligkeit ist.

Übrigens ist hier wie oben zu bemerken, dafs dieser Factor nur für kleine Grade der Blendung den Gang der Function ausdrücken soll.

### Gesetz der Intensitätsabstufungen für verschiedene Farben abgeleitet.

Wenn wir eine zusammengesetzte Farbe nur in ihrer Lichtstärke ändern, steigern wir alle ihre Bestandtheile um denselben Bruchtheil $d\varepsilon$, und wir haben also zu setzen:

$$dx = x\,.\,d\varepsilon, \qquad dy = y\,.\,d\varepsilon, \qquad dz = z\,.\,d\varepsilon.$$

Dann wird nach unserer Hypothese

$$dE = \frac{d\varepsilon}{1 + lx + my + nz} \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad \ldots\ldots \Big\} \quad 5$$

Für grofse Intensitäten, wo, wie bemerkt,

$$X = Y = Z = k$$

einer Constanten $k$ gleich werden, erhalten wir

$$dE = \frac{k\,.\,d\varepsilon}{1 + lx + my + nz} \sqrt{3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \Big\} \quad 5a$$

was den Beobachtungen über den gleichmäfsigen Gang der Gröfse $E$ bei allen Farben für hohe Lichtstärken entspricht.

Für mäfsigere Lichtstärken können wir in erster Annäherung setzen

$$X = \frac{kx}{A + x}, \quad Y = \frac{ky}{B + y}, \quad Z = \frac{kz}{C + z}$$

wo $A$, $B$, $C$ die Constanten bezeichnen, welche wir oben als die mittleren Werthe der Grundfarben des Eigenlichts gedeutet haben.

Unter dieser Voraussetzung wird

$$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = k \sqrt{\left(\frac{x}{A + x}\right)^2 + \left(\frac{y}{B + y}\right)^2 + \left(\frac{z}{C + z}\right)^2} \quad \Big\} \quad 5b$$

Die drei Brüche, die unter dem Wurzelzeichen addirt sind, können jeder für sich von Null bis + 1 steigen. Der höchste Werth der Wurzelgröfse, welcher eintritt, wenn alle drei Grundfarben hell genug in der Mischfarbe sind, um den Einflufs des Eigenlichts unmerklich zu machen, giebt

$$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = k\sqrt{3} = k\,.\,(1.7320) \quad \ldots\ldots \Big\} \quad 5c$$

Dagegen wird die Gröfse

$$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2},$$

welche als Factor in dem oben gegebenen Ausdruck für das Mafs der Empfindlichkeit vorkommt, kleiner werden für geringere Lichtstärken einzelner oder aller

Grundfarben, und zwar wird der Werth dieses Factors am meisten beeinträchtigt werden, wenn die größeren unter den Werthen $x$, $y$, $z$ auch durch die größeren unter den Werthen $A$, $B$, $C$ dividirt werden. Der kleinste unter den drei letzteren Werthen $C$ gehört dem Blau $z$ an, während Roth und Grün nahe gleiche größere Werthe $A$, $B$ zu haben scheinen. Dem entspricht die größere Stufenempfindlichkeit bei den lichtschwachen blauen Farben, die also auch von unsrer Formel angezeigt wird.

### Ähnlichste Farben.

Wenn wir zwei sehr wenig verschiedene Farben haben, von denen der einen die Farbenwerthe der Grundfarben $x$, $y$, $z$, der anderen $x + dx$, $y + dy$ und $z + dz$ zukommen, und wir die erstere in ihrer Intensität um den Bruchtheil $\varepsilon$ vermehren, so sind die Unterschiede in den Bestandtheilen der so vermehrten ersten und der zweiten Farbe $(dx - \varepsilon x)$, $(dy - \varepsilon y)$ und $(dz - \varepsilon z)$. Die Empfindung ihres Unterschiedes wird also nach unserer Hypothese:

$$dE = \sqrt{X^2 . \left(\frac{dx - \varepsilon x}{x}\right)^2 + Y^2 . \left(\frac{dy - \varepsilon y}{y}\right)^2 + Z^2 . \left(\frac{dz - \varepsilon z}{z}\right)^2} \;.\,. \Big\} \quad 6$$

Wenn wir nun $\varepsilon$ so bestimmen wollen, daſs $dE$ ein Minimum werde, ist zu setzen

$$\frac{\delta\,(dE^2)}{\delta \varepsilon} = 0 \;\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \Big\} \quad 6a$$

Dies giebt

$$-2\,X^2 \frac{(dx - \varepsilon x)}{x} - 2\,Y^2 \frac{dy - \varepsilon y}{y} - 2\,Z^2 \frac{dz - \varepsilon z}{z} = 0$$

oder

$$\varepsilon \left[X^2 + Y^2 + Z^2\right] = X^2 . \frac{dx}{x} + Y^2 . \frac{dy}{y} + Z^2 . \frac{dz}{z} \;\ldots\ldots \Big\} \quad 6b$$

Der Werth von $dE$ findet sich unter diesen Umständen

$$dE^2 = \left\{X^2 \left(\frac{dx}{x}\right)^2 + Y^2 . \left(\frac{dy}{y}\right)^2 + Z^2 \left(\frac{dz}{z}\right)^2\right\} - \varepsilon \left\{X^2 \frac{dx}{x} + Y^2 . \frac{dy}{y} + Z^2 . \frac{dz}{z}\right\} \quad 6c$$

Wenn wir den Werth von $\varepsilon$ aus Gleichung (6b) hineinsetzen, giebt dies

$$dE^2 = \frac{X^2 . Y^2 . \left(\frac{dx}{x} - \frac{dy}{y}\right)^2 + Y^2 . Z^2 . \left(\frac{dy}{y} - \frac{dz}{z}\right)^2 + Z^2 . X^2 . \left(\frac{dz}{z} - \frac{dx}{x}\right)^2}{X^2 + Y^2 + Z^2} \;.\,. \Big\} \quad 6d$$

Für den Fall, daſs alle drei Farben hell genug sind, um $X = Y = Z = k$ setzen zu können, giebt dies

$$dE^2 = \frac{k^2}{3}\left[\left(d \log \text{n.}\ \frac{x}{y}\right)^2 + \left(d \log \text{n.}\ \frac{y}{z}\right)^2 + \left(d \log \text{n.}\ \frac{z}{x}\right)^2\right] \;\ldots \Big\} \quad 6e$$

Dieser Ausdruck ist unabhängig von dem Maafs, in welchem die Quanta $x$, $y$, $z$ gemessen sind. Die vorausgehende Gleichung (6d) setzt nur voraus, dafs beziehlich $X$, $Y$, $Z$ in denselben Maafsen wie $x$, $y$, $z$ ausgedrückt sind.

Die Gleichung (6d) beziehlich (6e) würde die Gröfse des Farbenunterschiedes ausdrücken zwischen zwei Farben von verschiedenem Farbenton, die man durch passende Regulirung ihrer Helligkeit einander möglichst ähnlich gemacht hat.

Es liegen nun Beobachtungen an Spectralfarben, angestellt von den Herren A. König und E. Brodhun, vor, welche die nöthigen Data liefern, um die hier aufgestellte Formel mit Beobachtungen zu vergleichen. Die genannten beiden Herren hatten, wie schon früher angeführt, ein System von Messungen über die Resultate der Mischungen von Spectralfarben angestellt, aus denen sich die Zusammensetzung dieser aus drei passend gewählten Grundfarben, die sie mit $R$, $G$, $V$ bezeichneten, berechnen liefs (S. 337—371. Zahlenangaben folgen weiter unten). Aus diesen lassen sich die Differenzen der Grundfarben berechnen, die zwei dicht neben einander liegenden Spectralfarben entsprechen. Aufserdem haben dieselben Beobachter eine Reihe von Messungen der Empfindlichkeit des Auges für die Farbenunterschiede neben einander liegender Spectralfarben angestellt.[1] Sie haben dies so ausgeführt, dafs beide Felder meines Farbenmischapparats für Spectralfarben ähnliche Farben zeigten und der Beobachter sie dann auf Farbengleichheit einzustellen suchte. Der Fehler der Einstellung nach Wellenlängen berechnet, wurde notirt, und aus je 50 Einstellungsversuchen der mittlere Fehler berechnet.

Ich benutze hierbei nur diese letzten Beobachtungsreihen der genannten Beobachter, weil die früheren, welche Herr A. König zusammen mit Herrn C. Dieterici angestellt hat[2] nicht mit derselben Sorgfalt gegen den Einflufs von Helligkeitsunterschiede der verglichenen Farben geschützt waren.

Abgesehen von der oben schon erwähnten Aufgabe, die Empfindlichkeit gegen Helligkeitsunterschiede mit der gegen Farbenunterschiede zu vergleichen, würde die von mir formulirte hypothetische Erweiterung des psychophysischen Gesetzes, wenn sie sich durchgängig bewährt, Eines für die Theorie der Farbenempfindungen leisten können, wozu bisher noch gar kein sicherer Anhalt gegeben war, nämlich die Feststellung der wirklichen drei physiologisch einfachen Farbenempfindungen.[3]

Wir haben gesehen, dafs Newtons Farbenmischungsgesetz die ganze Mannigfaltigkeit der möglichen Farbenempfindungen zwar auf drei neben einander bestehende Erregungsweisen des Sehnervenapparates zurückzuführen erlaubt, aber ganz oder fast ganz unbestimmt läfst, welche Farbenempfindungen diesen drei elementaren Erregungen entsprechen. Denken wir uns nach Newtons Regel die Spectralfarben und ihre Mischungen in eine Farbentafel eingetragen, so würden die Orte der drei Grundfarben in der Youngschen Theorie nur der einzigen Beschränkung unterliegen, dafs das zwischen ihnen construirte Dreieck sämmtliche Spectralfarben in sich fassen mufs; wenn wir dagegen mit Hrn. E. Hering negative Erregungswerthe zulassen wollten, würden gar keine Beschränkungen in der Wahl der drei Urempfindungen gegeben sein.

[1] E. Brodhun, *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane.* Bd. III. S. 89. 1892 und *Verhandlungen der Physiologischen Gesellschaft zu Berlin* 1885—1886 No. 17 u. 18.

[2] A. König und C. Dieterici, *Wied. Annalen d. Physik.* XXII. S 579. 1884 und *Gräfe's Archiv für Ophthalmologie.* Bd. 30. (2) S. 171. 1884.

[3] Diese Untersuchung ist kürzlich veröffentlicht in *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane.* Bd. II. S. 1—30. Bd. III. S. 1—20.

Dieses Problem erschien mir wichtig genug, um seine Lösung, so gut es eben mit den bisher vorliegenden, in vieler Beziehung unzureichenden Beobachtungen angeht, zu versuchen, auch wenn man nur hoffen durfte, eine vorläufige angenäherte Lösung zu erhalten. Gleichzeitig wird sich ja dabei zeigen müssen, ob auch die Beobachtungen über die Farbenempfindlichkeit des trichromatischen Auges sich so weit unserer psychophysischen Hypothese fügen, als es bei den bestehenden Fehlergrenzen der Beobachtungen zu erwarten ist.

In letzterer Beziehung erinnere ich hier zunächst an die zur Zeit noch bestehenden Unzulänglichkeiten der Beobachtungen. Grofse Genauigkeit ist überhaupt bei allen Messungen der Grenze, wo irgend eine Erscheinung noch wahrnehmbar ist, ehe sie ganz verschwindet, der Regel nach nicht zu erreichen. Hier handelt es sich um die Wahrnehmung des Farbenunterschiedes benachbarter Spektralfarben. Dabei, wie in fast allen ähnlichen Fällen, spielen allerlei uncontrollirbare Abänderungen in dem Zustande unserer Nervenapparate und psychischen Thätigkeiten mit, welche sich schliefslich in dem abweichenden Gange der Messungsergebnisse zu erkennen geben.

Die Vergleichungen des Farbentons sind zwar in den letzten Messungsreihen der Hrn. A. König und E. Brodhun[1] mit gleich hell erscheinenden Farben durchgeführt worden, und wir dürfen wohl annehmen, dafs die beiden Beobachter sich zu diesem Zwecke die günstigsten Helligkeiten herzustellen gesucht haben. Solche würden in den Gültigkeitsbereich des normalen Fechnerschen Gesetzes fallen, wo die wahrnehmbaren Helligkeitsstufen der absoluten Lichtstärke proportional sind. Aber selbst, wenn sie dies für die sämmtlichen Spectralfarben haben einhalten können, ist es fraglich, ob nicht Abweichungen von dieser einfachsten Form des Fechnerschen Gesetzez da eintreten konnten, wo einer oder zwei der elementaren Farbeneindrücke in der Gesammtfarbe sehr schwach vertreten waren, z. B. bei sehr gesättigten Farben, deren schwache andersfarbige Einmischungen den Farbenunterschied bedingen. Hier konnten sich solche Abweichungen von dem genannten Gesetz geltend machen, wie sie bei geringen Helligkeiten eintreten. In der That werden wir Abweichungen dieser Art zwischen Rechnung und Beobachtung begegnen. Wären Angaben über die absoluten Lichtstärken der verglichenen farbigen Felder gegeben worden, so würden wir die von dem genannten Umstand bedingte gröfsere Unempfindlichkeit gegen die betreffenden Farbenunterschiede berechnen können; sehr grofs können allerdings diese Abweichungen unter den Verhältnissen des Farbendreiecks, die wir finden werden, nicht sein, da fast alle Spectralfarben sich als stark gemischt aus den Grundfarben ergeben werden.

Die Zahlenwerthe, welche die thatsächliche Unterlage für die bezeichnete Rechnung bilden, sind bei verschiedenen, von einander unabhängigen Untersuchungen gewonnen worden, die ohne Rücksicht auf den gegenwärtig vorliegenden Zweck durchgeführt wurden. Wäre Letzteres der Fall gewesen, so hätten einige Erleichterungen der Rechnung und eine wesentliche Sicherung ihrer Genauigkeit erreicht werden können. Namentlich wird die Rechnung erschwert und die Genauigkeit der Ergebnisse dadurch erheblich beeinträchtigt, dafs einerseits die Bestimmungen der Mischungsverhältnisse der Farben und die Bestimmungen der Sehschärfe für Farbenunterschiede andererseits nicht durchgängig für dieselben Wellenlängen gemacht sind.

[1] E. Brodhun. *Verhandl. der physiol. Gesellschaft zu Berlin*, 1885--1886. No. 17 u. 18. — Eine ausführlichere Mittheilung über diese Beobachtungsreihen in *Zeitschrift f. Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*. Bd III. S. 89. 1892.

so daſs die Zahlen für die Mischungsverhältnisse, die in der Rechnung gebraucht werden, zum Theil schon durch Interpolation gefunden werden muſsten. Vollends konnten die gleichzeitig gebrauchten Werthe der nach den Wellenlängen genommenen Differentialquotienten der Farbenwerthe im Spectrum überhaupt nur durch Interpolation gefunden werden, und gerade an einigen Stellen, wo diese Differentialquotienten sich sehr schnell ändern, wären engere Intervalle für die Beobachtungen höchst wünschenswerth gewesen.

Da die von Hrn. A. König gefundenen Zahlen, welche selbst schon die Umrechnung von dem prismatischen Spectrum des Gaslichtes auf das Interferenzspectrum des Sonnenlichtes mit Hülfe einer empirischen Formel erlitten hatten, unverkennbare kleine Unregelmäſsigkeiten der nach ihnen construirten Intensitätscurven der Elementarfarben erkennen lieſsen, schien es am besten, eine graphische Interpolation zu Grunde zu legen, wie eine solche übrigens der genannte Autor in den von ihm und C. Dieterici veröffentlichten Curven selbst angewendet hat. Diese Interpolation ist von Hrn. Dr. Sell, der den gröſsten Theil der höchst langwierigen Rechnungen durchgeführt hat, gemacht worden, und zwar zu einer Zeit, wo weder er noch ich übersehen konnten, welchen Einfluſs auf die erhofften Rechnungsergebnisse die Führung der Curve haben würde.

Für 18 Wellenlängen lagen ausreichende Beobachtungen vor. Wenn man annehmen durfte, daſs durchgängig die einfache erste Form des Fechner'schen Gesetzes als gültig betrachtet werden durfte, waren sechs Parameter zu suchen, mit deren Hülfe sich für alle diese Wellenlängen nahehin gleiche Werthe für das Maaſs der Empfindlichkeit des Auges hätten ergeben müssen. Die Gleichungen, aus denen die Parameter gefunden werden muſsten, waren sechsten Grades nach jedem von ihnen, also nur durch allmähliche Annäherungsrechnungen lösbar. Es lieſsen sich jedoch Regeln über den Sinn der Änderungen der Werthe der Empfindlichkeit für die einzelnen Wellenlängen bei Änderungen der einzelnen Parameter finden, welche als Leitfaden für die Rechnung dienen konnten.

Die Rechnung konnte schlieſslich überhaupt nur so weit fortgesetzt werden, bis die übrigbleibenden Differenzen zwischen Rechnung und Beobachtung keinen regelmäſsigen Gang mehr erkennen lieſsen, oder wenigstens keinen, der sich nicht schon aus den bekannten Abweichungen vom Fechner'schen Gesetze hätte erklären lassen. Die groſse Arbeit, welche es gemacht hätte, die Differenzen durch Rechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate noch zu verkleinern, schien mir gegenüber der ungenügenden Genauigkeit der zu Grunde liegenden Beobachtungen, welche künftig unschwer werden verbessert werden können, nicht gerechtfertigt.

Da diese Untersuchung einen Zusammenhang nachzuweisen sucht zwischen Gröſsen, für die ein solcher bisher durchaus nicht bekannt war, und die, wenn die von uns vorausgesetzte Abhängigkeit oder eine analoge zwischen ihnen nicht bestände, ebensogut im Verhältnisse von 1 : 100 oder 1 : 1000 hätten stehen können, statt einander annähernd gleich zu sein, so wird es immerhin als ein vorläufiges Resultat zu betrachten sein, wenn dieselben, trotz aller besprochenen ungünstigen Verhältnisse, nur im Verhältniſs von 1 : 1.5 von ihrem Mittelwerthe abweichen.

Für die hier durchzuführende Rechnung begnügen wir uns mit der einfachsten Form des Fechner'schen Gesetzes, in dem wir die oben mit $X$, $Y$, $Z$ bezeichneten Gröſsen und den Blendungsfactor alle gleich Eins setzen; wir setzen also

$$\left.\begin{aligned} dE_1 &= k \,.\, \frac{dx}{x} \\ dE_2 &= k \,.\, \frac{dy}{y} \\ dE_3 &= k \,.\, \frac{dz}{z} \end{aligned}\right\} \quad 7$$

Es ergiebt sich also

$$dE = k \,.\, \sqrt{\left(\frac{dx}{x}\right)^2 + \left(\frac{dy}{y}\right)^2 + \left(\frac{dz}{z}\right)^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 7a$$

Um die Wahrnehmbarkeit der Farbenabstufungen auf die der Helligkeitsabstufungen zurückzuführen, wenden wir diese Gleichung zunächst auf den Fall an, wo nur die Lichtstärken zweier Farben gleicher Qualität verglichen werden, also die Intensitäten aller drei Grundfarben in der einen Lichtmenge die in der anderen um einen gleichen Bruchtheil übertreffen. Wir setzen daher

$$dx = \varepsilon \,.\, x, \quad dy = \varepsilon \,.\, y, \quad dz = \varepsilon \,.\, z,$$

worin $\varepsilon$ einen kleinen ächten Bruch bezeichnet. Dies ergiebt wie in (5c)

$$dE = k \,.\, \varepsilon \,.\, \sqrt{3} = k \,.\, \varepsilon \,.\, 1{,}7320 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 8$$

Der Werth von $k$ ist, je nach der Methode der Beobachtung, verschieden grofs zu nehmen. Der aus den Principien der Wahrscheinlichkeitsrechnung hergeleitete theoretische Werth von $k$ bei solchen Beobachtungen, wo man $\varepsilon$ als den mittleren Fehler bestimmt hat, ist 1,8238 mal so grofs zu nehmen, als wenn $\varepsilon$ den kleinsten Fehler bedeutet, den man in 10 Fällen immer noch wahrnehmen konnte.

Ersteres ist bei KÖNIGS und BRODHUNS Messungen der Empfindlichkeit für Farbenunterschiede, letzteres bei denen der beiden genannten Beobachter für Helligkeitsstufen geschehen.

In einer Arbeit von Hrn. UHTHOFF[1] ist dieses Verhältnifs empirisch bestimmt. Es schwankt zwischen den Werthen 1,25 und 2,44 und beträgt im Mittel 2,025, was mit der theoretischen Ableitung des Werthes ausreichend stimmt.

Bestimmung ähnlichster Farbenpaare. Die oben gegebene Gleichung (6e) ergiebt, wenn wir die angeführten Vereinfachungen vornehmen, den Werth des Empfindungsunterschieds wenn er durch passende Regelung der Lichtstärke auf sein Minimum gebracht ist.

$$\frac{dE^2}{k^2} = \frac{1}{3}\left\{\left(\frac{dx}{x} - \frac{dy}{y}\right)^2 + \left(\frac{dy}{y} - \frac{dz}{z}\right)^2 + \left(\frac{dz}{z} - \frac{dx}{x}\right)^2\right\} \ldots\ldots \quad 8a$$

---

[1] UHTHOFF, Über die Unterschiedsempfindlichkeit des normalen Auges gegen Farbentöne in Gräfe's Archiv. Bd. XXXIV. (4). S. 1. 1888.

oder wenn wir mit $d\lambda$ den durch die Beobachtungen gefundenen mittleren Fehler der Wellenlänge $\lambda$ bezeichnen

$$\frac{dE}{k} = \frac{\delta\lambda}{\sqrt{3}}\sqrt{\left(\frac{1}{x}\cdot\frac{dx}{d\lambda} - \frac{1}{y}\cdot\frac{dy}{d\lambda}\right)^2 + \left(\frac{1}{y}\cdot\frac{dy}{d\lambda} - \frac{1}{z}\cdot\frac{dz}{d\lambda}\right)^2 + \left(\frac{1}{z}\cdot\frac{dz}{d\lambda} - \frac{1}{x}\cdot\frac{dx}{d\lambda}\right)^2}. \quad 8b$$

Die $x$, $y$, $z$ hängen nun mit den Elementarfarben $R$, $G$, $V$, welche zur Angabe des Farbenwerthes der verschiedenen Spectralfarben von den Hrn. A. König und C. Dieterici gebraucht sind, nach Newtons Gesetz durch lineare homogene Gleichungen zusammen, deren Coefficienten aber zunächst noch unbekannt sind. Bezeichnen wir diese Werthe mit

$$\left.\begin{aligned} x &= a_1 . R + b_1 . G + c_1 . V \\ y &= a_2 . R + b_2 . G + c_2 . V \\ z &= a_3 . R + b_3 . G + c_3 . V \end{aligned}\right\} \quad 9$$

so ist zunächst zu bemerken, dafs je einem der Coefficienten in jeder Horizontalreihe ein willkürlicher Werth gegeben werden kann, da

$$\frac{dx}{x},\ \frac{dy}{y} \text{ und } \frac{dz}{z}$$

ihre Werthe nicht ändern, wenn jeder der Gröfsen $x$, $y$, $z$ ein willkürlicher constanter Factor hinzugefügt wird. Sonst ist die Wahl der Coefficienten im Sinne von Youngs Theorie nur der einen Beschränkung unterworfen, dafs die Werthe von $R$, $G$, $V$, welche den Spectralfarben angehören, keine negativen Werthe von $x$, $y$, $z$ geben dürfen. Das wird nie der Fall sein können, wenn sämmtliche Coefficienten $a$, $b$, $c$ positive Werthe haben. Wenn aber negative Werthe vorkommen, wird man prüfen müssen, ob alle Spectralfarben positive $x$, $y$, $z$ ergeben.

Übrigens wird man von jedem System von Coefficienten der $[x, y, z]$, was der letzteren Bedingung Genüge leistet, zu anderen der $[x_1, y_1, z_1]$ übergehen können, indem man setzt

$$x_1 = x + fy + gz$$
etc.

Wenn die $f$ und $g$ positiv sind, wird auch das neue System für die Spectralfarben keine negativen Werthe ergeben.

Es kommt nun zunächst darauf an, sechs Verhältnisse der Constanten in den Gleichungen 9 so zu bestimmen, dafs die Werthe von $dE$ aus den Gleichungen 8b alle einander möglichst gleich werden. Dann würde nachher der berechnete Grad der Empfindlichkeit zu vergleichen sein mit dem, der für Helligkeitsunterschiede mittelst der Gleichung 8 gefunden ist.

Die Werthe der Constanten, die uns bis jetzt in unseren Berechnungsversuchen am besten zu genügen schienen, waren

$$\left.\begin{aligned} x &= 0{,}7964 \,.\, R - 0{,}3515 \,.\, G + 0{,}555 \,.\, V \ldots\ldots \\ y &= 0{,}2612 \,.\, R + 0{,}3483 \,.\, G + 0{,}3930 \,.\, V \ldots\ldots \\ z &= 0{,}250 \,.\, R + 0{,}125 \,.\, G + 0{,}625 \,.\, V \ldots\ldots \end{aligned}\right\} 9a$$

Die im Folgenden angegebenen Werthe der Differentialquotienten

$$\frac{dR}{d\lambda}, \frac{dG}{d\lambda}, \frac{dV}{d\lambda},$$

sowie auch einige der Werthe von *R*, *G*, *V* wurden, wie oben bemerkt, durch graphische Interpolation theils gefunden, theils ausgeglichen.

Die $\delta\lambda$ sind die von König gefundenen mittleren Fehler, welche in je fünfzig Versuchen, das Spectrometer auf gleiche Farben einzustellen, begangen wurden.

Tafel I.

Data für die Rechnung

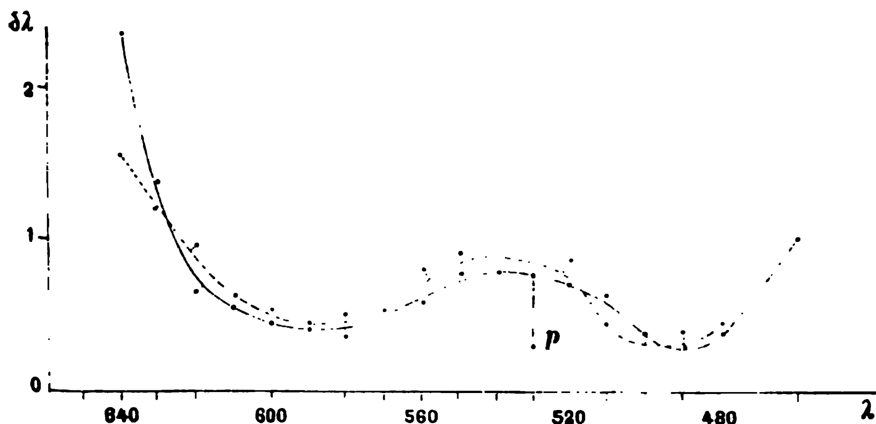
| Wellenlänge | $R$ | $G$ | $V$ | $\frac{dR}{d\lambda}$ | $\frac{dG}{d\lambda}$ | $\frac{dV}{d\lambda}$ | $\delta\lambda$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 640 $\mu\mu$ | 2,66 | 0,22 | 0 | — 0,116 | — 0,023 | 0 | 2,37 $\mu\mu$ |
| 630 „ | 3,95 | 0,54 | 0 | — 0,129 | — 0,044 | 0 | 1,35 „ |
| 620 „ | 5,35 | 1,12 | 0 | — 0,160 | — 0,078 | 0 | 0,67 „ |
| 610 „ | 6,60 | 2,17 | 0 | — 0,107 | — 0,123 | 0 | 0,55 „ |
| 600 „ | 7,51 | 3,60 | 0 | — 0,081 | — 0,165 | 0 | 0,45 „ |
| 590 „ | 8,27 | 5,48 | 0 | 0,067 | — 0,208 | 0 | 0,42 „ |
| 580 „ | 8,90 | 7,65 | 0 | — 0,055 | — 0,200 | 0 | 0,38 „ |
| 570 „ | 9,37 | 9,98 | 0 | — 0,039 | — 0,199 | 0 | 0,51 „ |
| 560 „ | 9,56 | 11,45 | 0,22 | 0 | — 0,100 | 0 | 0,58 „ |
| 550 „ | 9,21 | 12,00 | 0,3 | + 0,068 | 0 | — 0,0138 | 0,77 „ |
| 540 „ | 8,30 | 11,55 | 0,49 | + 0,121 | + 0,083 | — 0,0233 | 0,80 „ |
| 530 „ | 6,54 | 10,36 | 0,75 | + 0,202 | + 0,139 | — 0,0326 | 0,77 „ |
| 520 „ | 4,62 | 8,45 | 1,10 | + 0,171 | + 0,228 | — 0,0400 | 0,71 „ |
| 510 „ | 3,0 | 5,75 | 1,55 | + 0,162 | + 0,271 | — 0,0536 | 0,64 „ |
| 500 „ | 1,50 | 3,32 | 2,2 | + 0,114 | + 0,168 | — 0,0887 | 0,35 „ |
| 490 „ | 0,78 | 2,24 | 3,6 | + 0,051 | + 0,059 | — 0,208 | 0,31 „ |
| 480 „ | 0,1 | 1,88 | 7,9 | + 0,043 | + 0,028 | — 0,52 | 0,38 „ |

Dies sind die durch die Beobachtungen gegebenen Grundlagen der Rechnung. Die folgende Tafel II. giebt die Ergebnisse der Rechnung.

Tafel II.

| Wellenlänge | $x$ | $y$ | $z$ | $\frac{1}{x}\cdot\frac{dx}{d\lambda}$ | $\frac{1}{y}\cdot\frac{dy}{d\lambda}$ | $\frac{1}{z}\cdot\frac{dz}{d\lambda}$ | $dE$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 640 $\mu\mu$ | 2,05 | 0,73 | 0,69 | − 0,0418 | − 0,0496 | − 0,0455 | (0,0263) |
| 630 „ | 2,98 | 1,18 | 1,10 | − 0,0294 | − 0,0402 | − 0,0346 | 0,0196 |
| 620 „ | 3,88 | 1,70 | 1,47 | − 0,0261 | − 0,0391 | − 0,0359 | 0,0120 |
| 610 „ | 4,52 | 2,38 | 1,92 | − 0,0094 | − 0,0298 | − 0,0221 | 0,0151 |
| 600 „ | 4,75 | 3,10 | 2,32 | − 0,0014 | − 0,0250 | − 0,0175 | 0,0146 |
| 590 „ | 4,68 | 3,95 | 2,76 | + 0,0043 | − 0,0226 | − 0,0156 | 0,0158 |
| 580 „ | 4,43 | 4,86 | 3,18 | + 0,0060 | − 0,0171 | − 0,0122 | 0,0125 |
| 570 „ | 3,99 | 5,79 | 3,59 | + 0,0098 | − 0,0136 | − 0,0097 | 0,0173 |
| 560 „ | 3,77 | 6,43 | 3,96 | + 0,0093 | − 0,0054 | − 0,0032 | 0,0125 |
| 550 „ | 3,31 | 6,47 | 3,99 | + 0,0142 | + 0,0017 | + 0,0021 | 0,0146 |
| 540 „ | 2,86 | 6,26 | 3,82 | + 0,0210 | + 0,0078 | + 0,0064 | 0,0173 |
| 530 „ | 2,00 | 5,51 | 3,40 | + 0,0469 | + 0,0155 | + 0,0140 | (0,0389) |
| 520 „ | 1,87 | 4,51 | 2,90 | + 0,0196 | + 0,0300 | + 0,0159 | 0,0138 |
| 510 „ | 1,24 | 3,31 | 2,44 | + 0,0043 | + 0,0338 | + 0,0167 | (0,0253) |
| 500 „ | 1,33 | 2,38 | 2,16 | − 0,0129 | + 0,0219 | − 0,0027 | 0,0169 |
| 490 „ | 1,83 | 2,38 | 2,72 | − 0,0287 | − 0,0202 | − 0,0404 | 0,0133 |
| 480 „ | 4,04 | 3,86 | 5,27 | − 0,1028 | − 0,0725 | − 0,0877 | 0,0141 |
| | | | | | | Mittel: | 0,0176 |

Fig. 175.




Um eine anschauliche Übersicht über die bisher erreichte Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Theorie zu geben, habe ich in *Fig. 175* die Werthe

des $\delta\lambda$ dargestellt, wie sie KÖNIGS letzte Beobachtungen ergeben haben. Diese sind durch die ausgezogene Curve verbunden. Die punctirte Curve dagegen giebt die Werthe von $\delta\lambda$, wie sie nach der Theorie sein müfsten, um ein constantes $dE$ bei den gemachten Annahmen über die Grundfarben zu erreichen. Man sieht, dafs eine ziemlich ähnlich verlaufende Curve, wie die der beobachteten Werthe, durch die gegebene Theorie erreicht werden kann. Auch würden weitere Verbesserungen der Constanten $a$, $b$, $c$ wohl noch merklich bessere Übereinstimmung haben erreichen lassen, als es bisher gelungen ist. Die auffallendste Abweichung ist bei $\lambda = 530\ \mu\mu$, wo ein einzelner ganz kleiner Werth von $\delta\lambda$, in *Fig. 175* mit $p$ bezeichnet (beziehlich grofser Werth von $dE$), mitten zwischen solchen erscheint, die dem dort bestehenden Maximum von $\delta\lambda$ entsprechen. Es liegt diese Stelle im Grün nahe bei der Linie $E$, und dort mufste ein besonders weites Intervall (von $\lambda = 536\ \mu\mu$ bis $516{,}5\ \mu\mu$) durch Interpolation ausgefüllt werden, wodurch die Werthe der Differentialquotienten an jener Stelle erheblich unsicher werden. Der hier vorliegende jähe Sprung zwischen den drei benachbarten Werthen läfst sich durch keine Combination der Constanten $a$, $b$, $c$ beseitigen. Es ist hauptsächlich das Glied $\left(\frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{d\lambda}\right)$, was hier die Abweichung verursacht, und diese wird um so gröfser, da $x$ hier einem Minimum ganz nahe ist und das $x$ im Nenner deshalb sehr klein ausfällt.

Übrigens könnte es wohl sein, dafs eine der Curven der Farbenwerthe der Spectralfarben eine Ecke hätte mit plötzlicher Änderung des Differentialquotienten. Unsere Interpolationsrechnungen, die von der Annahme einer continuirlichen Krümmung der Curven ausgehen, müssen an einer solchen Stelle irre führen.

Sonst ist noch zu bemerken, dafs überall, wo die Lichtstärke einer der drei Farben gegen die anderen sehr zurücktritt, die verminderte Empfindlichkeit für die Unterschiedsschwellen schwachen Lichtes sich geltend macht. Dort wird, wenn nicht gleichzeitig der Differentialquotient nach $\lambda$ sehr klein wird, zu erwarten sein, dafs die Empfindlichkeit für die Farbenunterschiede in der Beobachtung sich geringer ($\delta\lambda$ dagegen gröfser) zeigen wird, als sie der Theorie nach sein sollte. Das ist also aufser bei der schon angegebenen Stelle zwischen $530\ \mu\mu$ und $510\ \mu\mu$, wo das eingemischte Roth sehr schwach ist, auch für die grüne Elementarfarbe am rothen Ende des Spectrum der Fall, und dem entspricht hier die Abweichung der Curven voneinander, welche *Fig. 175* bei $640\ \mu\mu$ zeigt.

### Die gefundenen Elementar- oder Urfarben.

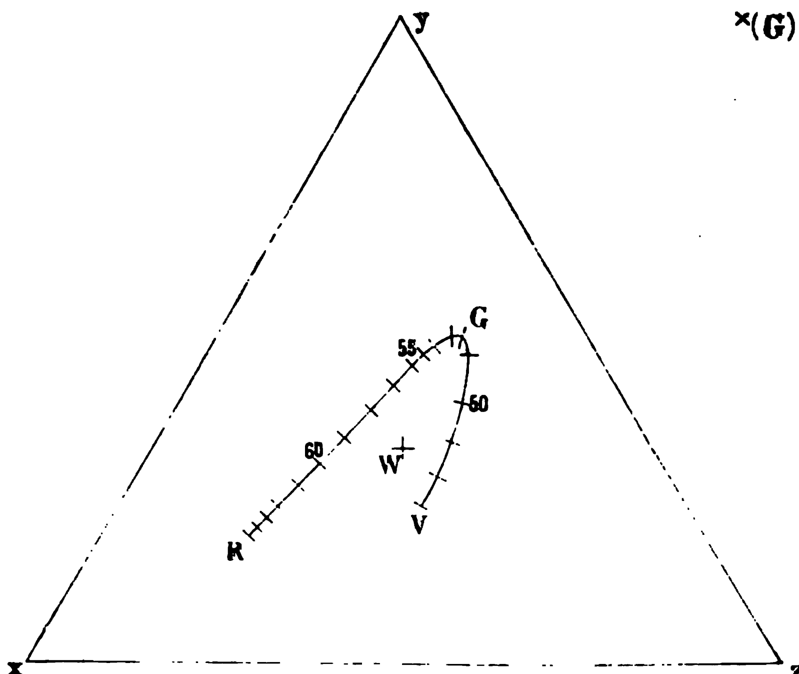
Das Verhältnifs der durch unsere Rechnung wenigstens provisorisch gefundenen Elementarfarben zu den Spektralfarben macht sich am besten in einem Farbendreieck anschaulich. Ein solches ist in *Fig. 176* construirt. Die Farbenwerthe der neuen Grundfarben sind einander gleich gesetzt und dieselben daher in den Ecken des gleichseitigen Dreiecks $x\,y\,z$ angebracht, wobei nach den auf S. 454 gegebenen Werthen Weifs (nämlich das des Sonnenlichts) im Mittelpunkt des Dreiecks bei $W$ liegt. Die Curve $R\ G\ V$ entspricht der Reihe der Spectralfarben. Diese liegen alle ziemlich entfernt von den Ecken des Dreiecks, sind also, wie es schon die oben gegebenen Zahlenwerthe anzeigten, stark gemischt, auch die Endfarben Roth und Violett.

Das spectrale Roth würde nach den auf S. 454 angegebenen Werthen eine weifsliche und ein wenig gelbliche Modification der Grundfarbe $x$ sein; letztere also würde etwa ein höchst gesättigtes Carminroth darstellen. Das spectrale Violett

wäre eine weißröthliche Abänderung der Urfarbe $z$, und diese letztere wäre also etwa mit dem Ultramarinblau im Farbenton zu vergleichen. Beide Farbenbestimmungen stimmten demnach mit Hrn. E. HERINGS Vermuthungen. Endlich würde die Urfarbe $y$ im Farbenton der Stelle zwischen $\lambda = 540$ $\mu\mu$ und $560$ $\mu\mu$ entsprechen, wo $x = z$ ist; das wäre im gelblichen Grün, und zwar grüner, als die Complementärfarbe des Violett, etwa dem Grün der Vegetation entsprechend.

Die starke Wölbung der Curve bei $G$ entspricht dem spectralen Grün bei FRAUNHOFERS Linie $E$. Das $(G)$ außerhalb des Dreiecks bezeichnet das von A. KÖNIG und C. DIETERICI ursprünglich als Grundfarbe für ihre Mischungs-

Fig. 176.




versuche gewählte Grün $G$. Diese Farbe war übrigens auch schon außerhalb ihres nach der Analogie der farbenblinden Augen construirten Farbendreiecks $\mathfrak{R}$, $\mathfrak{G}$, $\mathfrak{B}$ gelegen.

Da das spectrale Grün dem Rande des Farbendreiecks verhältnismäßig nahe liegt, bekommt es eine unter den übrigen Farben, die im Farbenton der Mischung zweier Urfarben entsprechen, ziemlich hervortretende Farbensättigung. Die bei $\lambda = 530$ $\mu\mu$ hervortretende Unregelmäßigkeit der Empfindlichkeitscurve fällt gerade in diese starke Krümmung der Farbencurve im Grün, was die Unsicherheit der dort gemachten Messungen und Interpolationen erklärlich machen mag.

Übrigens zeigt diese Curve an, daß alle einfachen Farben die sämmtlichen lichtempfindlichen Nervenelemente des trichromatischen Auges gleichzeitig und mit nur mäßigen Intensitätsunterschieden erregen. Wenn wir also diese Erregungen auf die Anwesenheit dreier photochemisch zu verändernder Substanzen in der

Netzhaut hypothetisch zurückführen, so müssen wir schliefsen, dafs diese alle d nahehin gleiche Grenzen der Lichtempfindlichkeit haben und nur untergeordn Abweichungen von mäfsigem Betrage im Gange der photochemischen Wirkung die verschiedenen Wellenlängen zeigen. Ähnliche Abänderungen durch Zumischu anderer Substanzen, Substitutionen analoger Atomgruppen u. s. w. kommen ja au bei anderen photochemisch veränderlichen Substanzen vor, wie sie in der Photograpl gebraucht werden, z. B. bei den verschiedenen Haloidsalzen des Silbers.

### Vergleich mit dichromatischen Augen.

Die hier gefundenen Grundfarben stimmen nicht mit denen überein, welche Hrn. A. König und C. Dieterici aus der Vergleichung farbenblinder Augen normalsichtigen hergeleitet haben. Indessen liegt in den Thatsachen hierbei k nothwendiger Widerspruch. Nur die besondere, von Th. Young ausgegangene u von den meisten Bearbeitern der Theorie, auch von mir selbst, von E. Herin A. König, und C. Dieterici früher angenommene Erklärungsweise, dafs bei d Dichromaten einfach eine der Grunderregungen des trichromatischen Auges nicht Stande komme, tritt in Widerspruch mit dem bezeichneten Ergebnifs. Aber es eine allgemeinere Hypothese über das Wesen der Dichromasie möglich, bei welch die Nothwendigkeit aufhört, dafs die fehlende Farbe eine der Grundfarben sei, u doch die Regel festgehalten wird, dafs alle Farbenpaare, welche für das normale t chromatische Auge gleich aussehen, auch für das dichromatische gleich aussehend bleib

Um dies durch ein einfaches Beispiel anschaulich zu machen, nehme man dafs die Lichteinwirkungen, welche sonst die Empfindung Grün erregen, die grü empfindenden Nerven nicht, wohl aber die roth- und blauempfindenden in bestimmt festen Verhältnifs erregen. Alle Empfindungen eines solchen Auges würden Roth und Blau gemischt erscheinen; es wäre dichromatisch. Aber die Farb welche auf der Farbenscheibe in denjenigen Geraden liegen, die durch den Ort d grünen Grundempfindung gezogen werden, werden im Allgemeinen nicht gleich scheinen, wie es unter der älteren Annahme der Fall sein würde, wo einfach Ausf der grünen Erregung angenommen wurde. Denn statt der wechselnden Menge d Grün im trichromatischen Auge würde hier eine wechselnde Menge einer bestimmt Purpurfarbe zu dem schon vorhandenen, verschieden gemischten Purpur hinz kommen und diesen in der Mehrzahl der Fälle verändern. In diesem Falle wür in der That der Schnittpunkt derjenigen Linien des dichromatischen Feldes, welc dichromatisch gleich erscheinende Farben enthalten, aufserhalb des Farbendreiec jenseits der grünen Ecke desselben liegen müssen.

Dies Verhältnifs bliebe ungeändert, wenn wir hierzu noch weiter annehm wollten, dafs jede Erregung des Roth, auch die eben neu angenommene, in b stimmtem Verhältnifs auch die grünempfindenden Nerventheile erregte, und al eine bestimmte Art Gelb zur Empfindung brächte, und jede Erregung des Bl ebenso eine bestimmte Art Grünblau. Dann wären sämmtliche Empfindungen ein solchen Auges aus Gelb und Grünblau zu mischen, während der Schnittpunkt de dichromatischen Linien gleichen Aussehens dadurch nicht geändert würde.

### Allgemeinere Form der Dichromasie.

Bezeichnen wir, wie bisher, mit $x, y, z$ die Farbenwerthe der verschiedene Lichter für das trichromatische Auge und damit zugleich das Maafs für die ihne entsprechenden physiologischen Processe im Sehnervenapparat, welche neben einand

bestehen und sich addiren bei der Erzeugung der Farbenempfindung. Dagegen wollen wir mit $\xi$, $\eta$, $\zeta$ die entsprechenden physiologischen Processe im dichromatischen Auge bezeichnen.

**Die erste Regel**, die sich aus den Beobachtungen ergeben hat, ist die, dafs farbige Lichter, die den normalen Trichromaten gleich erscheinen, es auch für die Dichromaten thun. Also wenn $x$, $y$ und $z$ gleichen Werth für zwei aus verschiedenen Spectralfarben gemischte Lichter haben, haben für beide auch $\xi$, $\eta$ und $\zeta$ gleiche Werthe, d. h. die letzteren Gröfsen sind Functionen von $x$, $y$, $z$, und nur von diesen.

**Die zweite Regel** ist die, dafs NEWTONS Mischungsgesetz auch für die Farben des dichromatischen Systems anwendbar ist, was zu einer Gleichung von der Form führt

$$\xi_{(x+x_1)} = \xi_{(x)} + \xi_{(x_1)},$$

woraus folgt, dafs die $\xi$, $\eta$, $\zeta$ nur lineare Functionen von $x$, $y$, $z$ sein können, und zwar homogene lineare, da $\xi = \eta = \zeta = 0$ sein mufs, wenn $x = y = z = 0$. Da aber $\xi$, $\eta$, $\zeta$ nur zwei Variable vertreten sollen, so wird zwischen ihren Werthen eine Gleichung stattfinden müssen, die wiederum nur eine lineare sein kann. Wir kommen also zu drei Gleichungen folgender Form:

$$0 = \alpha\xi + \beta\eta + \gamma\zeta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 10$$

$$\left.\begin{aligned} \xi &= p_1 x + p_2 y + p_3 z \\ \eta &= q_1 x + q_2 y + q_3 z \end{aligned}\right\} \quad 10a$$

Die Coefficienten $p$ und $q$ dieser letzteren Gleichungen müssen positiv sein, da $\xi$ und $\eta$ für alle positive Werthe von $x$, $y$ und $z$ positiv sein müssen. Dagegen mufs einer der Coefficienten der Gleichung 10 nothwendig das entgegengesetzte Vorzeichen von den beiden anderen haben, da $\xi$, $\eta$, $\zeta$ in TH. YOUNGS Theorie nothwendig positive Gröfsen für alle physiologisch möglichen Farbenempfindungen sein müssen.

Es sei $\gamma$ dieser Coefficient mit abweichendem Zeichen. Schreiben wir

$$-\frac{\alpha}{\gamma} = a \text{ und } -\frac{\beta}{\gamma} = b,$$

wo also $a$ und $b$ positiv sind, so ergiebt Gleichung 10

$$\zeta = a\xi + b\eta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 10b$$

Setzen wir weiter

$$\zeta_1 = a\xi \text{ und } \zeta_2 = b\eta$$
$$\zeta = \zeta_1 + \zeta_2,$$

so können wir die Empfindung $\xi$ mit der ihr proportionalen $\zeta_1 = a\xi$ zusammenfassen in die Empfindung einer Mischfarbe von bestimmter Zusammensetzung $\zeta_1$ und $\xi$, und ebenso $\zeta_2 = b\eta$ mit $\eta$. Der ganze vorhandene Farbenwerth des dichromatischen Auges erscheint dann als Mischung in veränderlichem Verhältnifs von

diesen beiden bestimmt zusammengesetzten Farben. Dadurch wäre dann auch das Aussehen der dichromatischen Farben bestimmt.

Um die besprochenen Verhältnisse in einer analytisch geometrischen Darstellung des Farbensystems anschaulich zu machen, verfahren wir am einfachsten,[1] wenn wir die Werthe der Grundfarben des trichromatischen Systems $x$, $y$, $z$ als rechtwinklige Coordinaten eines die betreffende Farbe enthaltenden Punctes gebrauchen. Nach YOUNGs Hypothese, welche nur positive Werthe der physiologisch möglichen Farbenwerthe zuläfst, ist dann das System aller Farben in der rechtwinkligen positiven Ecke dieses Coordinatensystems angeordnet. Als Farbentafel kann jede Ebene gelten, die die drei positiven Coordinataxen schneidet, z. B. die Ebene

$$x + y + z = Const. \qquad \Big\} \, 10c,$$

in der das Farbendreieck ein gleichseitiges wird.

Unter diesen Annahmen würde die Gleichung

$$\xi = p_1 \, . \, x + p_2 \, . \, y + p_3 \, . \, z = 0 \qquad \Big\} \, 11$$

eine Ebene darstellen, die durch den Anfangspunct der Coordinaten (die Spitze der Farbenecke) geht, aber ganz aufserhalb der positiven Ecke liegt, da bei den vorausgesetzten positiven Werthen der Coefficienten $p$ nothwendig eine oder zwei der Coordinaten negative Werthe haben müssen, um das Trinom zu Null zu machen.

Dasselbe würde gelten für die andere Gleichung

$$\eta = q_1 \, . \, x + q_2 \, . \, y + q_3 \, . \, z = 0 \qquad \Big\} \, 11a.$$

Sollen die beiden Gleichungen gleichzeitig gelten, so würde dadurch die Schnittlinie der beiden Ebenen, beziehlich wenn wir die Gleichung der Farbentafel (10c) hinzunehmen, der Punct, wo die Schnittlinie die Farbentafel schneidet, gegeben sein.

Setzen wir dagegen die Gleichung

$$B \, . \, \xi = A \, . \, \eta \qquad \Big\} \, 11b$$

oder

$$(Bp_1 - Aq_1) \, . \, x + (Bp_2 - Aq_2) \, . \, y + (Bp_3 - Aq_3) \, . \, z = 0 \ldots \Big\} \, 11c,$$

so ist dies wieder Gleichung einer Ebene, und zwar einer solchen, welche die beiden früher genannten $\xi = 0$ und $\eta = 0$ in derselben Schnittlinie schneidet, da diese beiden letzteren Gleichungen zusammen auch $11b$ erfüllen.

Die Gleichung $11b$ können wir aber auch schreiben

$$\xi : \eta = A : B$$

und mit Hülfe von Gleichung 5 ergiebt sich dann für die Puncte der Ebene $10b$ weiter

$$\frac{\zeta}{\xi} = a + \frac{b \, . \, B}{A}$$

$$\frac{\zeta}{\eta} = b + \frac{A}{B},$$

[1] S. oben. S. 336—338.

d. h., die drei Farbenempfindungen haben in jeder Ebene von der Form 10*b* constantes Verhältnifs zu einander. Die ganze Ebene ist gleichfarbig, und alle in einem dichromatischen Farbensystem gleichfarbigen Ebenen gehen durch eine gemeinsame Schnittlinie, die aber nothwendig aufserhalb oder an der Grenze der positiven Farbenecke liegt. In der nach NEWTON construirten Farbentafel schneiden sich alle gleichfarbigen Linien eines dichromatischen Systems in einem Puncte aufserhalb oder an der Grenze des trichromatischen Farbendreiecks.

Zu bemerken ist, dafs in diesem Puncte auch $\zeta = 0$ werden, also jede Lichtempfindung fehlen würde, was aber thatsächlich nur dann in Betracht kommt, wenn der Punct an der Grenze oder in einer Ecke des Farbengebietes liegt. Letzteres würde der älteren Annahme über die Natur der Dichromasie entsprechen.

In unseren Betrachtungen ist keinerlei Beschränkung für die Lage des Schnittpunctes gegeben. Daher fällt bei dieser Verallgemeinerung der Theorie der Dichromasie auch die Trennung in zwei scharf getrennte Klassen Grünblinde und Rothblinde weg, welche ja auch den Beobachtungen gegenüber nicht ganz gesichert erscheint.

Damit ist auch nachgewiesen, dafs der Mangel an Übereinstimmung zwischen der fehlenden Farbe der dichromatischen Systeme und je einer der von uns gefundenen Grundfarben keinen unlöslichen Widerspruch einschliefst.

Die Messungen der Hrn. KÖNIG und DIETERICI haben für zwei Klassen von Dichromaten die fehlenden Farben auf die von ihnen gewählten Elementarfarben $R, G, V$ zurückgeführt.

Diejenige Grundfarbe, welche normale Trichromaten mehr haben, als Rothblinde, ist von den beiden Autoren bezeichnet als:

$$\mathfrak{R} = \frac{20\,R - 3\,G + 2\,V}{19}.$$

dagegen die andere, welche normale Trichromaten mehr haben, als Grünblinde, als

$$\mathfrak{G} = {}^1/_5\,R + {}^4/_5\,G,$$

Wenn wir die oben gefundenen Gleichungen (9a), in denen die Werthe von $x, y, z$ durch $R, G, V$ ausgedrückt waren, benutzen, um die letzteren Gröfsen durch $x, y, z$ auszudrücken, erhalten wir:

$$\begin{aligned} R &= \phantom{-}1{,}328\;\;.\,x + 2{,}278\;\;.\,y - 2{,}611\;\;.\,z \\ G &= -0{,}5122\,.\,x + 2{,}8294\,.\,y - 1{,}3249\,.\,z \\ V &= -0{,}4288\,.\,x - 1{,}4771\,.\,y + 2{,}9094\,.\,z. \end{aligned}$$

Ferner die beiden fehlenden Farben

$$\begin{aligned} \mathfrak{R} &= \phantom{-}1{,}434\;\;.\,x + 1{,}797\,.\,y - 2{,}132\,.\,z \\ \mathfrak{G} &= -0{,}1442\,.\,x + 2{,}715\,.\,y - 1{,}483\,.\,z. \end{aligned}$$

Da negative Coefficienten anzeigen, dafs die definirten Farben aufserhalb des Farbendreiecks liegen, so ergiebt sich dies hiermit thatsächlich für die fehlenden

Farben beider Klassen von Dichromaten. Die fehlende Farbe der Grünblinden würde zwischen den verlängerten Seiten des Farbendreiecks liegen, die sich im Grün schneiden, näher dem vom Roth kommenden Schenkel, die der Rothblinden aufserhalb der Roth-Grün-Linie, deren Mitte etwa gegenüber, aber ziemlich entfernt.

### Vergleichung der Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede mit der für Farbenunterschiede.

Der kleinste erkennbare Bruchtheil für Helligkeitsunterschiede bei weifser Beleuchtung in den Beobachtungen von Hrn. A. König unter ähnlichen äufseren Einrichtungen, ähnlicher Gröfse des Gesichtsfeldes u. s. w., wie bei den Farbenvergleichungen betrug 0,0173. Die Gleichung (8) ergiebt alsdann

$$dE_h = k \,.\, 0{,}0173 \,.\, \sqrt{3}$$

Der Werth von $k$ mufs, wie oben bemerkt, bei den Farbenvergleichungsversuchen, in denen die Rechnung vom mittleren Fehler ausgeht, 1,8238 mal so grofs genommen werden, als bei den Helligkeitsvergleichungen, bei denen noch eben sichtbare Unterschiede gesucht sind. Wir erhalten daher aus den letzteren, wenn wir den Werth von $dE$ hier auf dasselbe Maafs zurückführen wollen, wie es in der obigen Tafel II (S. 455) gebraucht ist.

$$dE = \frac{0{,}0173}{1{,}8238} \cdot \sqrt{3} = 0{,}01643,$$

während der aus den Werthen der Tafel II gefundene Mittelwerth ist

$$dE = 0{,}0176.$$

Diese Übereinstimmung kann unter den gegebenen Umständen wohl als über Erwarten gut bezeichnet werden. Sie entspricht der Voraussetzung, von der wir hier ausgegangen sind, dafs die Wahrnehmung der Farbenunterschiede ursprünglich auf der Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden beruht.

Eine weitere Prüfung des hier aufgestellten Gesetzes wird wohl besser durch directe Mischung je zweier Spectralfarben in verschiedenem Verhältnisse auszuführen sein, bei denen das Mischungsverhältnifs unmittelbar am Apparat abgelesen werden kann, und bei denen auch mannigfachere Vergleichungen herzustellen sind, als sie zwischen unmittelbar benachbarten Spectralfarben eintreten.

Die Rechnung für das dichromatische Auge hatte ich schon vor der für das trichromatische durchgeführt, aber unter der älteren einfacheren Annahme, dafs eine Grundempfindung ganz fehlt. Die Rechnung stimmte mit den Beobachtungen etwa ebensogut oder schlecht, wie für das trichromatische Auge. Führt man die eben gegebene allgemeinere Auffassung der Dichromasie ein, so läfst die Umformung der Formel schon übersehen, dafs dabei noch eine neue Constante eintritt, über die frei zu verfügen ist, und man wird mit deren Hülfe also jedenfalls eine bessere Übereinstimmung mit der Formel herstellen können, als mit der kleineren Zahl von Constanten. Die mühsame Rechnung in diesem noch ziemlich provisorischen Zustande unserer Kenntnisse des Gegenstandes durchzuführen, schien mir überflüssig.

**Kürzeste Farbenlinien.** Die oben für den allgemeineren Werth von $dE$ gegebene Formel Gl (4) macht es möglich, diejenigen Reihen von Farben zwischen zwei gegebenen Endfarben zu bestimmen, längs deren man die kleinste Summe wahrnehmbarer Unterschiede durchläuft, welche Reihen also den kürzesten Linien im Farbensystem entsprechen würden. Ich werde mir erlauben, für sie den Namen der kürzesten Farbenreihen zu brauchen.

Da eine vollständig genaue Formel für die kleinsten wahrnehmbaren Helligkeitsunterschiede, wie sie annähernd FECHNERs Gesetz giebt, noch nicht gefunden ist, will ich mich auf den Gebrauch der von FECHNER selbst noch gegebenen späteren Formel beschränken, wonach die Deutlichkeit des Unterschiedes von dem Bruche $\frac{dJ}{A + J}$ abhängt, wenn $J$ und $(J + dJ)$ die beiden zu vergleichenden objectiven Lichtmengen sind, $A$ eine von der Qualität des Lichts abhändige Constante. Diese Formel entspricht, wie wir gesehen, den Beobachtungen in einem aufserordentlich ausgedehnten Theil der Scala der Helligkeiten. Für sehr kleine und sehr grofse Helligkeiten ist die Deutlichkeit aber etwas kleiner, als nach der Formel zu erwarten wäre.

Die von mir als wahrscheinliche Hypothese aufgestellte Formel für die Deutlichkeit des Unterschiedes zweier Farben, von denen die eine aus den Quantis der Urfarben $x$, $y$, $z$ zusammengesetzt ist, die andere dagegen aus $(x + dx)$, $(y + dy)$, $(z + dz)$ lautet

$$dE^2 = \left(\frac{dx}{a + x}\right)^2 + \left(\frac{dy}{b + y}\right)^2 + \left(\frac{dz}{c + z}\right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 12.$$

Hierbei ist aber zu bemerken, dafs die $x$, $y$, $z$ den physiologischen Urfarben entsprechen müssen, und nicht, wie im Mischungsgesetz, durch lineare Functionen derselben ersetzt werden können.

Wenn man in Gleichung (1) andere Variabeln einführt, und setzt:

$$\left.\begin{aligned} \log(a + x) &= \xi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \log(b + y) &= \eta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \log(c + z) &= \zeta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \quad 12a.$$

so kann man die Gleichung (1) auch schreiben:

$$dE^2 = d\xi^2 + d\eta^2 + d\zeta^2.$$

Construirt man also eine Farbenecke, in der man nicht mehr $x$, $y$, $z$, sondern $\xi$, $\eta$, $\zeta$ als Coordinaten braucht, so wäre das $dE$ direct proportional dem Linienelement zwischen den beiden durch $\xi$, $\eta$, $\zeta$ und $(\xi + d\xi)$, $(\eta + d\eta)$, $(\zeta + d\zeta)$ gegebenen Puncten. In diesem letzteren Coordinatensystem würden sämmtliche kürzeste Farbenreihen durch gerade Linien dargestellt werden müssen, die aber beim Übergang in das ursprüngliche Coordinatensystem der $x$, $y$, $z$ im Allgemeinen gekrümmt werden würden.

Wenn wir den einen Endpunct der Farbenreihe mit dem Index (1) bezeichnen, den anderen mit (2), so würde man die Gleichung einer geraden Linie im Coordinatensystem der $\xi$, $\eta$, $\zeta$ auf die Form bringen können:

$$\frac{\xi - \xi_1}{\xi_2 - \xi_1} = \frac{\eta - \eta_1}{\eta_2 - \eta_1} = \frac{\zeta - \zeta_1}{\zeta_2 - \zeta_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \Big\} \; 12b.$$

Um die Gleichung dieser Linie in den $x$, $y$, $z$ ausdrücken zu können, setzen wir zunächst zur kürzeren Bezeichnung:

$$\left.\begin{aligned} \lambda &= \log \cdot \left[\frac{a + x_2}{a + x_1}\right] = \xi_2 - \xi_1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \mu &= \log \cdot \left[\frac{b + y_2}{b + y_1}\right] = \eta_2 - \eta_1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \nu &= \log \cdot \left[\frac{c + z_2}{c + z_1}\right] = \zeta_2 - \zeta_1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \; 12c.$$

Dann werden die Gleichungen (12b):

$$\left(\frac{a + x}{a + x_1}\right)^\lambda = \left(\frac{b + y}{b + y_1}\right)^\mu = \left(\frac{c + z}{c + z_1}\right)^\nu \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \Big\} \; 12d.$$

Wenn von den sechs Gröfsen, die in den Gleichungen 12c unter dem Logarithmenzeichen vorkommen, nicht je zwei im Nenner, oder je zwei im Zähler gleich Null werden, haben die Gröfsen $\lambda$, $\mu$, $\nu$ endliche reelle, positive oder negative Werthe. und die Puncte der Linie sind eindeutig bestimmt, da ihre Coordinaten nur positiv reell sein können. Da nun $a$, $b$, $c$ (Farbencomponenten des Eigenlichts im Sinne von FECHNERs Auffassung) nur positive Werthe haben können, und $x$, $y$, $z$ für reelle Farben ebenfalls, so kommt also für reelle Farben die oben bemerkte Ausnahme niemals vor, und zwischen jedem Paare von Punkten des reellen Farbengebiets giebt es also nur eine kürzeste Farbenlinie.

Da indessen die Puncte, in denen zwei von den Gröfsen $(a + x)$, $(b + y)$ und $(c + z)$ gleich Null werden, eine besondere Rolle bei den Constructionen spielen, mache ich hier darauf aufmerksam, dafs alle drei Gröfsen, gleich Null gesetzt, den Nullpunct allen Lichtes, Eigenlicht und objectives Licht zusammengenommen, bezeichnen; wir wollen diesen Punct deshalb im Folgenden mit (0) bezeichnen. Wenn nur zwei der genannten Gröfsen gleich Null sind, sind dadurch die Parallelen zu den Coordinataxen gegeben, welche durch den Punct (0) gehen. Wenn von einem Punkte dieser Linien aus kürzeste Farbenreihen nach einem anderen festen Puncte zu construiren sind, so sind diese durch ihre Endpuncte nicht vollständig gegeben, sondern können in unendlicher Anzahl construirt werden.

Ebene Curven. Eben werden Curven, für welche einer der Exponenten $\lambda$, $\mu$ oder $\nu$ gleich Null ist, oder zwei derselben einander gleich.

Im ersteren Falle erhalten die drei Gröfsen, welche in (12d) einander gleichgesetzt sind, alle den Werth 1, was, wenn $\lambda = 0$, folgern läfst

$$\begin{aligned} b + y &= b + y_1 \\ c + z &= c + z_1, \end{aligned}$$

d. h. die betreffenden kürzesten Farbenreihen liegen auf geraden Linien der $x$-Axe parallel.

Die Annahme $\mu = 0$ giebt eben solche Gerade der $y$-Axe parallel, und $\nu = 0$ der $x$-Axe parallel. Dieselben können übrigens durch jeden Punkt der Farbenpyramide gezogen werden.

Im **zweiten Falle**, wo zwei Exponenten einander gleich, erhalten wir entweder

$$\frac{a + x_1}{a + x_2} = \frac{b + y_1}{b + y_2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

oder

$$\frac{b + y_1}{b + y_2} = \frac{c + z_1}{c + z_2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{12e.}$$

oder

$$\frac{c + z_1}{c + z_2} = \frac{a + x_1}{a + x_2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

Bezeichnen wir wieder den Punct, dessen Coordinaten $(-a)$, $(-b)$, $(-c)$ sind, d. h. in welchen alle Lichtempfindung fehlt, auch die des Eigenlichts, mit dem Index 0, den Punct $x = y = z = 0$, wo nur die Empfindung des Eigenlichts da ist, mit $\varepsilon$, so sagt die erste unserer Gleichungen aus, dafs die Puncte 0, 1, 2, projicirt auf die $xy$-Ebene in gerader Linie liegen. Die Curve liegt also in einer Ebene, die der $z$-Axe parallel ist, und durch den Punct 0, sowie die beiden Endpuncte der Curve geht.

Die zweite der Gleichungen 12e würde sich auf eine Ebene beziehen, die der $x$-Axe parallel durch den Punct 0 geht, die dritte auf eine Ebene, die der $y$-Axe parallel durch denselben Punct geht.

Je zwei dieser Ebenen schneiden sich in **geraden Linien**, die dann nothwendig hinreichend verlängert durch den Punct 0 gehen, und **kürzesten Farbenreihen** entsprechen.

Dagegen werden Linien, welche gleicher Qualität des objectiven Lichts entsprechen, verlängert durch den Punct $\varepsilon$ gehen, wo $x = y = z = 0$. Nur eine von diesen, die gleichzeitig durch $\varepsilon$ und 0 geht, wird einer kürzesten Farbenreihe entsprechen.

Nun liegt es im Wesen einer kürzesten Farbenreihe, dafs unter solchen Farben, die von der einen Endfarbe gleich grofsen Unterschied zeigen, die in der kürzesten Farbenreihe liegenden auch der anderen Endfarbe ähnlicher als alle anderen benachbarten Farben erscheinen werden.

Fällt die Reihe der Farben gleicher Mischung mit der kürzesten Reihe zusammen, so werden ihre Glieder auch beim Übergang von schwacher zu hoher Lichtstärke keine Abweichung des Farbentons zeigen. Wohl aber wird dies der Fall sein, wenn die erstere Reihe keine kürzeste ist. Denn dann würde es Farben geben von anderer Mischung, durch welche man einen kürzeren Übergang von den dunkelsten zu den hellsten Tönen gleicher objectiver Qualität bahnen könnte.

Nun kommen in der That solche Unterschiede vor. Ich habe schon in meinen älteren Arbeiten[1] über Spectralfarben erwähnt, dafs sie bei steigender

[1] S. oben S. 284, 285 und H. HELMHOLTZ, Über Herrn D. BREWSTER's neue Analyse des Sonnenlichts. *Pogg. Ann.* Bd. 86. S. 520. 1852

Helligkeit alle dem Weifs, beziehlich Gelbweifs ähnlicher werden. Am schnellsten geht bei steigender Lichtstärke Grün in Gelb, Violett in Weifsblau über. Höhere Helligkeiten sind nöthig, um spectrales Roth in Gelb und Blau in Weifs überzuführen. Es giebt nur eine Farbe, nämlich Gelbweifs, welche bei allen Intensitäten merklich unverändert bleibt. Wir würden daraus zu schliefsen haben, dafs Gelbweifs dem Farbenton der geraden Linie entspricht, die durch die Puncte (0) und ($\varepsilon$) unseres Coordinatensystems geht. Wir wollen diese für unser hier vorliegendes Thema als die **Principallinie** des Farbensystems bezeichnen. Im Sinne von FECHNERS Hypothese wäre sie die Farbe des Eigenlichts der Netzhaut.

Nehmen wir dagegen eine andere Farbe, z. B. Grün, welches bei Steigerung der Intensität und unveränderter Mischung gelb wird. Offenbar müfsten wir ein gesättigteres Grün höherer Helligkeit herzustellen versuchen, um unsere Farbenreihe mit dem dem unteren Ende ähnlichsten Farbentone abzuschliefsen, d. h. wir müfsten zu einer anderen Farbenmischung übergehen, um in einer Reihe möglichst wenig unterschiedener Farbentöne zu bleiben.

**Gekrümmte Projectionslinien.** Wenn wir von den drei in Gleichung (2c) einander gleichgesetzten Gröfsen zwei, die nicht gleiche Exponenten haben, einander gleichsetzen, so sind die Curven verschieden, je nach dem die beiden Exponenten gleiches oder ungleiches Vorzeichen haben.

### A. Curven durch den Punct 0.

Im ersteren Falle, wenn z. B. die beiden Exponenten $\lambda$ und $\mu$ gleiches Zeichen haben, würde $\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)$ positiv sein, und die Curve

$$\frac{a+x}{a+x_1} = \left(\frac{b+y}{b+y_1}\right)^{\frac{\mu}{\lambda}}$$

würde durch den Punct 0 gehen, da dort $a+x = b+y = 0$ ist. Ist dabei $\frac{\mu}{\lambda} > 1$, so würde $(a+x)$ schneller steigen, als $(b+y)$ die Curve ihre convexe Seite der Linie $b+y=0$ zukehren.

Umgekehrt ist $\frac{\mu}{\lambda} < 1$, so würde die Curve ihre convexe Seite der Linie $a+x=0$ zukehren.

Wenn wir die Puncte (1) und (2) sehr nahe an einander liegend wählen, und ihre Abstände als kleine Gröfsen behandeln

$$\lambda = -\frac{dx}{a + x_1}$$
$$\mu = -\frac{dy}{b + y_1}$$
$$\nu = -\frac{dz}{c + z_1};$$

schreiben wir dann

$$\frac{dx}{dy} = \operatorname{tg} \varphi$$

$$\frac{a + x_1}{b + y_1} = \operatorname{tg} f,$$

so wird

$$\frac{\lambda}{\mu} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} f}.$$

Daraus ergibt sich, dafs $\frac{\lambda}{\mu} > 1$, wenn $\operatorname{tg} \varphi > \operatorname{tg} f$ oder $\varphi > f$, d. h. wenn im Puncte 1 die Tangente der Curve einen gröfseren Winkel mit der positiven $y$-Axe macht, als die Gerade (0,1). Umgekehrt, wenn $\frac{\mu}{\lambda} > 1$. Der entferntere Theil aller dieser Curven $(1, \infty)$ ist convex, das Stück (0,1) derselben dagegen concav gegen die Gerade (0,1).

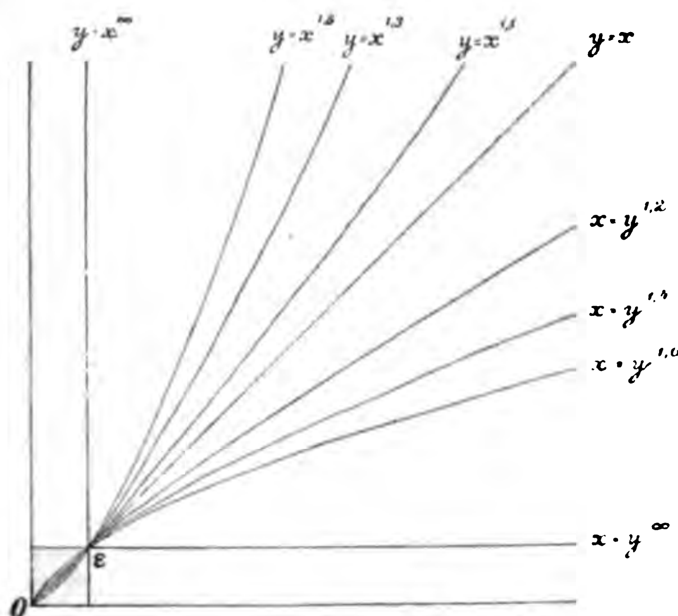


Fig. 177.

Die Grenzen dieses Büschels von Curven sind die, wo $\frac{\mu}{\lambda} = 0$ oder $= \infty$. Es sind dies die schon oben erwähnten geraden Linien, gezogen durch den Punct 1, parallel den Axen der $x$ und der $y$.

Die *Fig. 177* stellt ein Bündel solcher Curven dar, welche alle durch denselben Punct $\varepsilon$ gehen und verschiedene Exponenten haben, deren Werthe (1 bis 1,6) am Rande angegeben sind.

B. Projections-Curven mit zwei Asymptoten.

Wenn die beiden Exponenten der Gleichung entgegengesetztes Zeichen haben, so können wir setzen

$$\frac{\mu}{\lambda} = -\varrho.$$

Dann ist $\varrho$ eine positive Gröfse, und es wird

$$\frac{a+x}{a+x_1} = \left(\frac{b+y}{b+y_1}\right)^{-\varrho}.$$

Also wird für $a + x = 0$ das $b + y = \infty$, und für $a + x = \infty$ das $b + y = 0$, d. h. die durch den Punct 0 den Coordinataxen parallel gezogenen Linien sind Asymptoten für die Curve, welche hyperbelähnlich mit zwei Enden in das Unendliche läuft. Aber diese in $\infty$ auslaufenden Enden der Curven liegen aufserhalb des Farbenfeldes, selbst aufserhalb des physiologisch möglichen, da dieses durch zwei gerade Linien begrenzt ist, die parallel den $x$ und den $y$ durch den Punct $\varepsilon$ gelegt sind. Das spectrale Farbenfeld ist noch enger durch einen spitzen Winkel begrenzt, dessen Scheitel ebenfalls im Puncte $\varepsilon$ liegt, so dafs von diesen hyperbelähnlichen Curven nur sehr kurze, fast gerade Stücke für kleine Lichtintensitäten, längere und gekrümmtere nur für grofse Intensitäten in Betracht kommen.

Wenn die oben mit $\varrho$ bezeichnete Constante den Werth $\varrho = 1$ hat, so ist die Curve eine gleichseitige Hyperbel im strengen Sinne.

Da entweder zwei oder gar keines der Verhältnisse zwischen den Exponenten negativ ist, so können entweder zwei oder keine der Projectionscurven die hyperbel-ähnliche Form mit zwei Asymptoten haben. Eine von ihnen oder alle drei haben die parabelähnliche Form und gehen durch den Punct (0).

Farbenunterschiede bei gleicher Qualität und verschiedener Helligkeit. Die kürzesten Farbenreihen, welche durch den Punct $\varepsilon$ gehen, der dem Mangel alles objectiven Lichtes entspricht, geben drei parabelähnliche Projectionen, welche auch durch den Punct (0) gehen wie *Fig. 177* zeigt.

In der Mitte des Bündels liegt die als Principallinie bezeichnete Gerade, welche durch (0) und ($\varepsilon$) geht und die einzige Linie bildet, welche gleichzeitig einer kürzesten Farbenreihe und gleichbleibender objectiver Qualität der Farbe (gleichem Mischungsverhältnisse) entspricht.

In den drei Ebenen, welche durch diese Linie und die Coordinataxen gehen, liegen ebene Curven, welche der Principallinie ihre convexen Seiten zukehren.

Um Farben dieser Ebenen objectiv herzustellen, würde man entweder einzelne Urfarben mit der Principalfarbe zu mischen haben, oder solche Farben, die, mit

der entsprechenden Urfarbe gemischt, die Principalfarbe geben. Ich will die letzteren principale Gegenfarben nennen. Sind Carminroth, Ultramarinblau und Blattgrün im Farbenton den Urfarben entsprechend, und Gelbweifs die Principalfarbe, so wären etwa Spangrün, Gelb und Purpur die principalen Gegenfarben. Von sämmtlichen Mischungen aller sechs Farben mit dem principalen Gelbweifs würde zu erwarten sein, dafs sie alle innerhalb der Reihe der Farbentöne bleiben, welche die entsprechenden Mischungen hervorbringen können, und nur das Verhältnifs würde geändert erscheinen, indem die lichtschwachen Farben dieser Art gesättigter erscheinen würden, als die gleich zusammengesetzten lichtstarken, da die lichtstarken, die in derselben Farbencurve liegen, in der That sich dem Umfange der Farbenpyramide nähern, wo die gesättigteren Farben liegen.

So werden also lichtschwaches Ultramarin und Gelb bei gleicher Qualität und hoher Intensität als ein weifslicheres Blau und Gelb erscheinen müssen. Die Zumischung von Weifs zum Blau wird relativ stärker sein, als die zum Gelb, weil der gelbe Bestandtheil der Principalfarbe etwas Blau wegnimmt und dafür noch etwas Weifs bildet, dem Gelb aber sich einfach hinzufügt.

Dagegen werden schwaches Urroth bis Purpur einerseits und Blattgrün bis Spangrün andererseits ihre entsprechenden lichtstarken Farben in etwas weifslicheren und gelblicheren Mischungen finden.

Dieses Gelblichwerden der rothen und grünen Farbentöne bei hoher Lichtstärke, das Weifswerden des Blau sind schon oben erwähnt.

Verschwinden der Zwischenfarben bei geringer Helligkeit. Die Spectralfarben sind im Allgemeinen einer Urfarbe oder Mischungen aus je zweien solchen sehr nahe in ihrem Farbentone. Wenn man die letzteren auf die Ebene der beiden Urfarben projicirt denkt, so werden kürzeste Farbenreihen, die in bestimmter Richtung vom Punkte ($\varepsilon$), dem Punkte der objectiven Dunkelheit, auslaufen, wie in *Fig. 177*, alle convex gegen die Projection der Principallinie sein, und also im ferneren Verlaufe sich derjenigen Urfarbe nähern, von der sie durch diese Projection nicht getrennt sind. Es werden also lichtschwache Farben, die der Mischung zweier Urfarben entsprechen, der auf gleicher Seite der Gegenfarbe liegenden Urfarbe sich nähern, wenn man nach den ähnlichsten gesättigteren lichtstärkeren Farben sucht.

Dies führt uns auf eine von W. von Bezold[1] und E. Brücke[2] beschriebene Erscheinung. Beide haben nämlich gefunden, dafs aus einem gut gereinigten Spectrum von mäfsiger Länge, in dem man aber die stärkeren Fraunhoferschen Linien noch gut sehen kann, bei allmählicher Abschwächung die gelben und die cyanblauen Farbentöne ganz verschwinden, und dafs zwischen ihnen schliefslich nur drei Farben, Roth, Grün und Violettblau, stehen bleiben. Die genannten Autoren haben damals auch schon den Schlufs gezogen, dafs die genannten drei Farben die physiologischen Grundfarben sein müssen, indem sie diejenigen Empfindungselemente einer gemischten Empfindung, die die Reizschwelle nicht überschreiten, als unwirksam auch in

[1] W. v. Bezold. Über das Gesetz der Farbenmischung und die physiologischen Grundfarben. *Pogg. Ann.* Bd. 150. S. 237—239. 1873.

[2] E. Brücke. Über einige Empfindungen im Gebiete des Sehnerven. *Wiener Sitzungsbericht.* Abth. III. Bd. LXXVII. 1878. Febr. 28.

der gemischten Empfindung betrachten. Es ist dies eine Betrachtungsweise, die der hier eingeschlagenen wesentlich verwandt ist.

Mischungen mit Weifs. Ähnliche Abweichungen, wie die bisher besprochenen, zwischen dem Farbentone einer lichtschwachen und lichtstarken Farbe von gleicher objectiver Qualität kommen auch zwischen denen einer isolirten gesättigten Farbe und deren Mischung mit sehr vielem Weifs vor.[1]

Wenn Weifs und eine Mischung dieses Weifs mit einer kleinen Menge einer Spectralfarbe als gegeben nach ihrem Orte in der Farbenpyramide angesehen werden,* so läfst sich die kürzeste Farbenreihe, die durch die beiden Punkte führt, construiren. Diese wird gegen einen Theil der Oberfläche der Farbenpyramide hin gerichtet sein, an der die gesättigten Farben derselben Reihe liegen, als deren stark mit Weifs verdünnte Modification die gegebene Mischung erscheint.

Dabei ist zu bemerken, dafs, wenn man zu dem Weifs reine Urfarben hinzumischen könnte, die Verbindungslinie beider eine der entsprechenden Coordinataxe parallele Gerade werden würde, welche selbst eine kürzeste Farbenreihe ist und ihre Richtung nicht ändert. Die kürzeste Farbenreihe würde also mit der Mischungsreihe zusammenfallen und keinerlei Farbenänderung entstehen.

Da aber die Spectralfarben als zusammengesetzte Farben anzusehen sind, in denen nur eine oder zwei der Urfarben erhebliches Übergewicht haben, so werden dadurch Krümmungen der kürzesten Farbenreihen möglich.

Um die Form der betreffenden Farbenreihe vollständig übersehen zu können, wird man sich im Allgemeinen je zwei Projectionen auf Grenzflächen der Farbenpyramide entwerfen müssen.

Das Curvenbündel der *Fig. 177* würde auch bei etwas abgeänderten Verhältnissen seinen Charakter behalten. Deuten wir es jetzt so, dafs wir den Punct $\varepsilon$ als die Projection des Weifs auf eine der Coordinatebenen betrachten; $\varepsilon x$ sei die Coordinatrichtung für die eine Grundfarbe, die zum Weifs hinzugethan werden kann, $\varepsilon y$ für die andere. Beide Linien entsprechen kürzesten Farbenreihen. Dann wird noch die mit $y = x$ bezeichnete Gerade sehr nahehin wenigstens eine kürzeste Farbenlinie sein. Die Gleichung der letzteren, die in diese Richtung fällt, würde allerdings, streng genommen, nicht $x = y$, sondern $a + x = b + y$ sein. Wenn aber die Coordinaten des Weifs so grofs sind, dafs die des Eigenlichts $a$, $b$ dagegen verschwinden, wird der Unterschied unerheblich.

Nun sieht man, dafs alle Curven, welche zwischen $\varepsilon x$ und $y = x$ liegen concav gegen $x$, die anderen concav gegen $y$ sind. Verfolgt man sie von $\varepsilon$ aus, so nähern sie sich im Fortlauf der näheren Grundfarbe und weisen auf gesättigtere Abstufungen von dieser hin. Wenn wir also die Art der eingemischten Farbe nach den ähnlichsten, vom Weifs weniger überdeckten Farbentönen beurtheilen, werden wir die Einmischung der reinen Urfarbe $x$ ähnlicher halten.

---

[1] Auch schon von W. v. BEZOLD erwähnt, *Pogg. Ann.* Bd. 150. S. 245. 1873.

Spectrales Roth kann nach meinen neueren Bestimmungen als Urroth mit überwiegend grünlicher Einmischung betrachtet werden. In der Mischung mit Weifs würde das Grünliche mehr zurücktreten, die Farbe dem Urroth näher, also mehr rosenroth erscheinen, was in der That der Fall ist und schon früher von Hrn. E. Hering bemerkt worden ist.

Violett, was aus gleichen Quantis Urroth und Urblau zusammengesetzt wäre, würde in der Projection auf die Blauroth-Ebene mit der Projection des Weifs fast dieselbe Richtung haben, und seine kürzeste Farbenreihe fast geradlinig sein. Es käme bei spectralem Violett nur in Betracht, dafs es noch eine Einmischung von Grün hat, die in der Grünroth-Ebene, wie in der Grünblau-Ebene gegen das überwiegende Roth, bezüglich Blau mit steigender Entfernung vom Weifs schwinden würde. Dadurch würde die Farbe dem Complement des Grün, dem Rosenroth ähnlicher gemacht.

Geht man zu bläulicheren violetten Einmischungen über, so würde neben dem stärkeren Blau der rothe Bestandtheil des Violett zu schwinden anfangen, was anfangs noch durch das stärkere Schwinden des Grüns compensirt würde. Ich fand, dafs zwischen $\lambda = 450\,\mu\mu$ bis $\lambda = 430\,\mu\mu$ der Zusatz des spectralen Blau dem Weifs eine ziemlich deutlich rosenrothe Färbung gab; erst bei $\lambda = 470\,\mu\mu$ schwand dieser röthliche Ton.

Farbenunterschiede schwächsten Lichtes. So wie bei hohen Lichtstärken die Farbenunterschiede schwächer werden und zum Theil verschwinden, findet dasselbe auch bei schwächstem Licht statt. Ich habe schon erwähnt. dafs bei allmäliger Abnahme der Lichtstärke zuerst die Zwischenfarben im Spectrum schwinden, Gelb und Grünblau, und der von ihnen eingenommene Raum zwischen Roth, Grün und Violettblau sich theilt. Bei weiterer Abnahme tritt an Stelle der letzteren Rothbraun, Olivenbraun und Blaugrau; endlich schwinden alle Farbenunterschiede, am spätesten das Roth,[1] und alles schwächste Licht wird, so lange es überhaupt noch wahrgenommen werden kann, gleichmäfsig grau gesehen.

In absolut dunkler Umgebung sieht man deshalb auch ein sehr lichtschwaches Spectrum als einen schwachen Lichtstreifen ohne Farbenunterschiede, und zwar liegt nach den in dieser Beziehung übereinstimmenden Versuchen von F. Hillebrand[2] und A. König[3] das Maximum der Helligkeit bei $\lambda = 535\,\mu\mu$ im Grün. Auch schliefsen sich einige von den Curven der monochromatischen Augen derselben Helligkeitscurve ziemlich gut an.

Auch das erste schwache Licht, was ein erglühender Körper in ganz dunklem Raume zuerst ausgiebt, erscheint nach Versuchen von Fr. Weber[4] grau, „düsternebelgrau". nach des Autors Benennung, bei steigender Tempe-

[1] Doves Angabe, dafs Blau zuletzt schwinde, bezieht sich auf gleichmäfsige Abnahme des objectiven Lichts, und ist durch Purkinjes Phänomen bedingt.

[2] F. Hillebrand (in E. Herings Laboratorium angestellte Versuche in *Sitzungsber. der Wiener Akademie.* Bd. 98. Sitzung vom 21. Febr. 1889.

[3] A. König, Über den Helligkeitswerth der Spectralfarben *Festschrift für H. v. Helmholtz.* Hamburg 1891. S. 337. Tafel VI.

[4] Fr. Weber, Die Entwicklung der Lichtemission glühender fester Körper. *Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Berlin* 1887. 9. Juni.

ratur „aschgrau", endlich gelblichgrau, und zwar ist es das Gelbgrün des Spectrum, was so zuerst sichtbar wird. Platin sendet diese Strahlen aus schon bei etwa 391° C., Gold bei 413°, oxydirtes Eisen bei 377°, während deutliche Rothgluth erst bei 525° nach Drapers Messung erreicht wird. Dann reicht aber das Spectrum schon vom Roth der Fraunhoferschen Linie *B*, bis zum Grün von *b*. Dafs das Gelbgrün zuerst sichtbar wird, ist wohl der gröfseren Empfindlichkeit des Auges für diese Strahlengattung zuzuschreiben, während das Blau des Spectrum bei diesen niederen Temperaturen noch zu geringe Intensität hat, um sich merklich zu machen.

Ähnliche Beobachtungen kann man an den sogenannten phosphorescirenden Wolken machen, die zuweilen bei sehr klarem Himmel in Hochsommer um Mitternacht im Norden sichtbar werden[1] und aufserordentlich hoch liegende Wölkchen zu sein scheinen, die noch Dämmerungslicht von der unter dem Horizont stehenden Sonne haben. Sie erscheinen graugrün, ihr Licht wird durch ein rothes Glas ausgelöscht, während andere von fernem Gaslicht ebenso hell beleuchtete Objecte durch das rothe Glas sichtbar bleiben. Gaslicht enthält also mehr rothe Strahlen, als das der phosphorescirenden Wolken, obgleich auch das letztere wahrscheinlich Dämmerungslicht der auch für sie noch unter dem Horizont stehenden Sonne ist.

Die Erklärung dieser Erscheinungen ergiebt sich aus den zuletzt gegebenen Beziehungen der Spectralfarben zu den Urfarben. Jede Spectralfarbe erregt sämmtliche drei Urfarben in mäfsigen Stärken. Licht unterscheiden wir, wenn wir die gesammte vorhandene Lichtmasse von dunkel unterscheiden können, d. h. wenn die einzelnen Reize die Reizschwelle übertreten. Um Farben zu unterscheiden, müssen wir kleinere Mengen der Urfarben im einen Gemisch von gröfseren im anderen unterscheiden. So ist z. B. nach den Rechnungen von S. 461 enthalten:

| | Im spectralen Roth | Im spectralen Violett | Im Weifs |
|---|---|---|---|
| Urroth | 0,6093 | 0,3528 | 0,3333 |
| Urgrün | 0,1998 | 0,2498 | 0,3333 |
| Urblau | 0,1913 | 0,3973 | 0,3333 |

Aus den S. 405—408 und S. 415 gegebenen Werthen aus A. Königs Beobachtungen folgt, dafs die Helligkeiten, bei denen die gröfsere Helligkeit von 0,6 derselben unterschieden werden kann, 8 bis 20 mal so grofs sind als die Reizschwellen. Das erstgenannte Verhältnifs aber müfste von 1 unterschieden werden können, wenn spectrales Roth der betreffenden Lichtstärke von Weifs unterschieden werden sollte. Bei den anderen Farben sind die Verhältnisse noch näher an 1 und schwerer von 1 zu unterscheiden.

[1] In den letzten Jahren vermuthlich durch Reste des Krakatoastaubs begünstigt.

Ich habe in diesem Abschnitte die Voraussetzung festgehalten, dafs NEWTONS Farbengesetz streng richtig ist. Dafs E. BRODHUN[1] Thatsachen entdeckt hat, die Änderungen in den Verhältnissen der Farbenwerthe der Spectralfarben bei wechselnder Lichtstärke anzeigen, habe ich auf S. 375 und 376 schon angeführt. Es schien noch zweifelhaft, ob man dies nicht als Besonderheit seines dichromatischen Auges ansehen müsse. Neuerdings hat aber auch Herr A. KÖNIG[2] an seinem normalen trichromatischen Auge solche Versuche bis zu sehr viel gröfseren Unterschieden der Lichtstärken ausgedehnt, und ähnliche ziemlich weit gehende Änderungen gefunden. Ich habe mich selbst von der Richtigkeit überzeugt. Daraus folgt wohl nun, dafs auch NEWTONS Gesetz nur für mittlere Lichtstärken annähernd richtig ist, nicht für zu kleine.

**Ältere Methoden der Photometrie.** BOUGUER[3] liefs zwei weifse Flächen 328
durch die zu vergleichenden Lichter beleuchten, stellte sich so, dafs er sie beide perspectivisch neben einander sah und veränderte dann die Entfernung der einen weifsen Fläche vom Licht so lange, bis die Erleuchtung gleich wurde. LAMBERT[4], der in seinem berühmten Werke Photometria das erste vollständige System dieser Wissenschaft mit grofsem Scharfsinn entwickelte, wendete neben anderen für specielle Fälle bestimmten Methoden namentlich das Princip der zwei Schatten an, was oben schon erwähnt ist. Dasselbe Verfahren wendet auch RUMFORD[5] in dem nach ihm benannten Photometer an.

Um die Stellung des Beobachters bequemer zu machen, wendete POTTER[6] statt der zwei weifsen undurchsichtigen Flächen von BOUGUERS Photometer zwei transparente an, und RITCHIE[7] fügte noch zwei unter 45° geneigte Spiegel hinzu, welche das Licht auf die weifsen Flächen warfen und erlaubten die Lichtquellen nach entgegengesetzten Richtungen hin aufzustellen. J. HERSCHEL[8] hob hervor, dafs die Bedingung inniger Be- 329
rührung der zu vergleichenden Flächen in RITCHIES Photometer erfüllt sei, und dadurch die Genauigkeit zunehme. PERNOT[9] modificirte das Verfahren von POTTER dadurch, dafs er die beiden transparent beleuchteten Flächen noch von der entgegengesetzten Seite durch ein drittes Licht beleuchtet, welches er allmählich näher bringt. Sind jene beiden gleich, so müssen sie gleichzeitig verschwinden. In BUNSENS oben erwähntem Photometer wird eine Papierfläche, die zum Theil mit Stearin getränkt ist, von vorn und von hinten beleuchtet. Ist das hintere Licht schwach, so erscheint der transparente Fleck dunkel, ist es zu stark, hell.

Die Absorption der Lichtstrahlen benutzte DE MAISTRE[10] zur Schwächung, indem er ein Prisma von blauem Glase mit einem gleichen von weifsem Glase so zusammenlegte, dafs die äufseren Begrenzungsflächen parallel wurden und das Licht ungebrochen durchging, aber an verschiedenen Stellen des Doppelprisma verschieden stark absorbirt wurde. Ähnlich benutzte QUETELET[11] zwei Prismen aus blauem Glase, die, verschieden gegen einander verschoben, eine planparallele Platte von veränderlicher Dicke bildeten. Durch die hierbei angewendeten blauen Glasplatten wird aber die Farbe des hindurchgehenden Lichtes verändert, und dafs bei der Vergleichung verschiedenfarbigen Lichts keine genaue Messung möglich sei, ist schon erwähnt worden. Noch mifslicher sind zwei andere Instrumente, bei welchen nicht zwei verschiedene Lichter verglichen, sondern absolute

---

[1] A. KÖNIG, Über NEWTONS Gesetz der Farbenmischung und darauf bezügliche Versuche des Hrn EUGEN BRODHUN. *Sitzungsber. der Akad. zu Berlin.* 31. März 1887. S. 311.

[2] Nach mündlicher Mittheilung.

[3] BOUGUER, *Essai d'optique* 1729. 12°. *Traité d'optique sur la gradation de la lumière.* Paris 1760. Latein. Übersetzung. Wien 1762.

[4] LAMBERT. *Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae.* Augustae Vindelic 1760.

[5] RUMFORD, *Philos. Transactions* LXXXIV. p. 67.

[6] POTTER, *Edinburgh Journal of Science.* New. Ser. III. 284.

[7] RITCHIE, *Annals of Philosophy.* Ser. III. Vol. I. 174.

[8] J. HERSCHEL, *On light.* p. 29.

[9] PERNOT, *Dinglers polyt. Journ.* CXIX. 155. *Moniteur industr.* 1850. Nr. 1509.

[10] DE MAISTRE, *Bibl. univ. de Genève.* LI. 323. *Pogg. Ann.* XXIX. 187.

[11] QUETELET, *Bibl. univ. de Genève.* LII. 212. **Pogg. Ann.* XXIX. 187—189.

Lichtstärken dadurch bestimmt werden sollen, dafs sie bei bestimmter Gröfse der Absorption ganz verschwinden. Das eine ist von LAMPADIUS[1] vorgeschlagen. Er sieht durch eine Anzahl dünner Hornblätter nach dem hellen Gegenstande und vermehrt sie so lange, bis das Objekt eben verschwindet. DE LIMENCEY und SEGRETAN[2] brauchten statt der Hornblätter Papierscheiben. Das andere ist das von einem Ungenannten[3] vorgeschlagene Lamprotometer, um die Helligkeit des Tages zu messen. Es wird dabei bestimmt, wie starke Lackmustinctur man nehmen müsse, damit ein vom Tageslicht beleuchteter Platindrath, durch ein mit der Tinctur gefülltes Glas gesehen, verschwinde. Die Grenze der Empfindlichkeit des Auges für Licht ist doch zu unbestimmt, als dafs bei solchen Messungen nicht Irrungen um das Dreifache oder mehr der gemessenen Gröfse eintreten sollten. Auf demselben Princip beruht ein Photometer von ALBERT[4] und eines von PITTER.[5]

Dagegen waren es zwei andere Wege, auf denen allmählich die vollendeteren Methoden, welche jetzt üblich sind, sich entwickelten. Der eine dieser Wege hat Bestimmung der Helligkeit der Sterne zum Ziel. J. HERSCHEL schwächte das Licht des helleren Sterns, indem er die Apertur des Fernrohrs, welches auf ihn gerichtet war, durch ein vorgesetztes Diaphragma verkleinerte. Dasselbe Princip liegt auch A. v. HUMBOLDTS Astrometer zu Grunde. Dies ist ein Spiegelsextant von gewöhnlicher Einrichtung. Das Fernrohr des Instruments ist bekanntlich auf einen halb belegten, halb unbelegten Spiegel gerichtet
330 und sieht den einen Stern durch den unbelegten Theil, den anderen durch den belegten und einen zweiten Spiegel. Indem man das Fernrohr senkrecht gegen die Trennungslinie des belegten und unbelegten Theils verschiebt, kann man mehr Strahlen von dem einen oder anderen bekommen und so die Bilder zweier Sterne, oder die beiden Bilder eines Sterns, nach Belieben gleich oder ungleich machen und ihre Lichtstärke vergleichen. Das Verfahren von HUMBOLDT hat den Vortheil, dafs die beiden Sterne, welche verglichen werden sollen, dicht neben einander im Gesichtsfelde desselben Fernrohrs erscheinen. Die Vergleichung so intensiver kleiner Lichtpuncte ist aber schwerer, als die Vergleichung heller Flächen. Diesem Mangel wird durch das Objectiv-Photometer von STEINHEIL[6] abgeholfen. Es ist dies ein Teleskop, dessen Objektivglas halbirt ist. Vor jeder Hälfte des Objectivs befindet sich ein rechtwinkliges Glasprisma als Spiegel. Das Ganze wird so gestellt, dafs die eine Hälfte des Objectivs dem Beobachter den einen, die andere den anderen der zu vergleichenden Sterne zeigt. Dann werden die beiden Hälften des Objectivs einzeln hinausgeschoben, so dafs nicht mehr deutliche Bilder, sondern Zerstreuungsbilder der beiden Sterne entstehen, welche desto lichtschwächer werden, je gröfser man sie macht, d. h. je weiter man die entsprechende Hälfte des Objectivs hinausschiebt. Jede solche Hälfte ist mit einem rechteckigen Diaphragma versehen, welches mit anderen von anderer Gröfse vertauscht werden kann. Die beiden Bilder der Sterne erscheinen nach richtiger Einstellung als zwei dicht an einander grenzende nahe gleich grofse Rechtecke von gleicher Helligkeit, also unter den günstigsten Bedingungen, um kleine Unterschiede der Helligkeit zu erkennen. Durch dieses Instrument sind zuerst genaue Lichtmessungen an Fixsternen und Planeten möglich geworden. SCHWERD[7] dagegen benutzte die Diffraction, welche durch enge kreisförmige Diaphragmen entsteht, um helle Flächen hervorzubringen.

Für die physikalischen Untersuchungen dagegen, wobei es sich darum handelt, zu bestimmen, wie viel Licht bei Refractionen, Reflexionen und anderen Vorgängen verloren gegangen ist, hat man mit Vortheil das stärkere Licht durch Brechung und Zurückwerfung

---

[1] LAMPADIUS, *Gehlers Wörterbuch.* 2. Auflage. VII. 482.

[2] DE LIMENCEY. und SEGRETAN, *Cosmos.* VIII. 174; *Polyt. Centralblatt* 1856. 570; *Dinglers polyt. Journ.* CXLI. 73.

[3] *Pogg. Ann.* XXIX. 490.

[4] ALBERT, *Dinglers polyt. Journ.* C. 20 und Cl. 342.

[5] PITTER, *Mechanics Magazine.* XLVI. 291.

[6] STEINHEIL, *Pogg. Ann.* XXXIV. 646. — *Denkschriften der Münchner Akad.* Math.-phys. Klasse Bd. II. 1836. — Ähnlich die Methode von JOHNSON. *Cosmos.* III. 301—305.

[7] SCHWERD, *Bericht über die Naturforscherversammlung* 1858.

an unbelegten Glastafeln geschwächt. BREWSTER[1] und QUETELET[2] brauchten mehrfache nahe senkrechte Reflexionen, um starkes Licht mit schwachem vergleichbar zu machen; 28 bis 29 solche Reflexionen verlöschen z. B. das Sonnenlicht. DUWE[3] benutzte ebenso die Reflexionen an schwarzen Glastafeln, wie sie zu Polarisationsapparaten gebraucht werden. Die verschieden starke Reflexion bei wechselndem Einfallswinkel benutzte POTTER.[4] Lichtquelle ist ihm ein halbcylindrisch geformter weifser Schirm, dessen gleichmäfsige Beleuchtung man voraussetzen mufs, die aber schwer zu erreichen sein wird. Die geschickteste Ausführung hat dies Princip in dem Photometer von ARAGO erhalten und ist dadurch zur Ausführung sehr genauer Messungen der Lichtstärke brauchbar geworden.[5] Die Lichtquelle dieses Photometers ist ein transparenter, ebener, senkrecht stehender Papierschirm, der am Fenster steht und in allen seinen Theilen gleichmäfsig erleuchtet sein mufs, was sich übrigens durch das Instrument selbst controlliren läfst. Senkrecht gegen den Schirm und gegen den Horizont ist ferner aufgestellt eine planparallele Glasplatte, unter deren Mitte sich ein Zapfen befindet, um welchen als Axe ein Rohr in einer horizontalen Ebene drehbar ist. Das Rohr ist horizontal gegen die Mitte der Platte gerichtet, und der Beobachter, welcher durch das Rohr sieht, erblickt theils durch die Platte einen Theil des Papierschirms, theils in ihr gespiegelt einen anderen Theil dieses Schirms. Rechts und links von der Glasplatte, zwischen ihr und dem Schirm, sind horizontal und in etwas verschiedener Höhe schwarze Stäbe angebracht, die dicht neben einander theils durch die Platte, theils von ihr gespiegelt gesehen werden. Wo der gespiegelte schwarze Stab erscheint, sieht der Beobachter das durchgelassene Licht des weifsen Schirms allein; wo der schwarze Stab im durchgelassenen Licht erscheint,
sieht der Beobachter das gespiegelte Licht des weifsen Schirms. Die Röhre wird nun so 331
gestellt, dafs die beiden schwarzen Streifen gleich hell erscheinen, und der Winkel, unter dem die Röhre gegen die Glasplatte gerichtet ist, wird durch eine passend angebrachte Theilung gemessen. Man kann nun das einfallende oder das gespiegelte Licht allerlei anderen Einwirkungen unterwerfen und wird dann im Allgemeinen einen anderen Winkel erhalten, unter dem gesehen die beiden Bilder gleich hell erscheinen. Um aus diesem Winkel die stattfindende Schwächung des Lichts berechnen zu können, mufs vorher empirisch bestimmt sein, wie sich bei den verschiedenen Einfallswinkeln die durchgelassenen zu den gespiegelten Lichtmengen verhalten, wofür ARAGO ein besonderes Verfahren vorgeschlagen hat, welches darauf beruht, dafs die beiden Strahlenbündel, welche ein doppelt brechender Krystall giebt, gleich stark und jeder einzelne halb so stark sind, als der ungetrennte Strahl. Indem er so eines der beiden Strahlenbündel durch Doppelbrechung halbirt oder viertheilt, kann er die Stellungen ermitteln, wo das durchgelassene Licht das Viertel, die Hälfte, das Doppelte, das Vierfache des zurückgeworfenen ist und schliefslich durch Interpolation die betreffenden Verhältnisse auch für alle zwischenliegenden Winkel bestimmen.

ARAGO hatte noch ein anderes Princip zur Schwächung des Lichts vorgeschlagen, nämlich die Polarisation in doppeltbrechenden Krystallen zu benutzen. Läfst man vollständig polarisirtes Licht vor der Intensität $I$ in einen solchen Krystall eintreten, und bildet die Polarisationsebene des Lichts mit dem entsprechenden Hauptschnitte des Krystalls einen Winkel $\varphi$, so erhält man durch die doppelte Brechung zwei Bündel, deren Intensität beziehlich $I \cos^2\varphi$ und $I \sin^2\varphi$ ist. Kann man den Winkel $\varphi$ messen, so ist dadurch also auch unmittelbar das Verhältnifs der Lichtstärke der gebrochenen Bündel gegeben. Die NICOL'schen Prismen eliminiren das eine Bündel ganz und lassen nur das andere bestehen. Hierauf beruht das Photometer von F. BERNARD.[7] Die beiden zu vergleichenden Strahlen

[1] BREWSTER, *Edinburgh Transactions.* 1815.
[2] QUETELET, *Bibl. univ. de Genève.* LII. 212. *Pogg. Ann.* XXIX. 187—189.
[3] DUWE, *Pogg. Ann.* XXIX. 190 Anm.
[4] POTTER, *Edinburgh Journal of Science.* New. Ser. IV. 50 und 320. — *Pogg. Ann.* XXIX. 487.
[5] *Oeuvres de* FR. ARAGO X. p. 184—224.
[7] F. BERNARD, *Annales de Chemie.* 3) XXXV 385—438. *Cosmos* II. 496—497 und 636—639. C. R. XXXVI. 728—731

werden parallel zu einander, jeder durch zwei drehbare NICOLsche Prismen, geleitet und dann durch totale Reflexion in einem rechtwinkligen Glasprisma parallel und dicht neben einander in das Auge des Beobachters gelenkt, der ihre Intensität gleich zu machen sucht dadurch, dafs er die Hauptschnitte der beiden NICOLschen Prismen, durch welche der stärkere Strahl geht, unter einem passenden Winkel gegen einander stellt. Stammt das zu vergleichende Licht aus derselben Lichtquelle her, so kann man die beiden ersten NICOLschen Prismen weglassen, und an ihrer Stelle ein doppeltbrechendes Prisma gebrauchen, welches das Licht der Quelle in zwei gleiche, verschieden polarisirte Hälften spaltet. Sehr ähnlich im Princip ist das Photometer von BEER.[1] Die beiden Strahlenbündel kommen horizontal von rechts und links zum Instrumente, gehen jeder durch ein NICOLsches Prisma, werden durch einen stählernen Doppelspiegel, der zwei unter 45° gegen den Horizont geneigte spiegelnde Flächen hat, vertical gemacht und fallen durch einen dritten NICOL in das Auge des Beobachters. Dieser sieht vor sich ein kreisförmiges Feld, dessen rechte und linke Hälfte den beiden reflectirenden Flächen des Doppelspiegels entsprechen, und kann durch Drehung der Nicols die beiden Felder gleich hell machen. Ähnlich ist auch das Photometer von ZÖLLNER.[2]

BABINET[3] hat zur Vergleichung der Lichtstärke zweier Strahlenbündel polarisirten Lichts ein Mittel benutzt, welches die Vergleichung ihrer Stärke ungemein erleichtert. Sein Photometer ist zunächst bestimmt, die Helligkeit von Gasflammen zu vergleichen. Eine Röhre läuft in zwei Schenkel aus, von denen der eine die Verlängerung der Röhre bildet, während der andere mit dieser einen Winkel von 70° einschliefst. Beide sind durch mattgeschliffene Glastafeln geschlossen. Am Scheitel des Winkels wird die Röhre von einem Satz Glasplatten durchsetzt, welcher den Winkel halbirt. Werden nun vor die beiden Röhrenenden Lichtquellen gesetzt, so tritt das Licht der einen Quelle in das gemeinsame Röhrenstück, nachdem es von dem Glassatz durchgelassen und senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirt ist, und das Licht der anderen Quelle, nachdem es
332 reflectirt, und in der Einfallsebene polarisirt ist. Das gemeinsame Röhrenstück ist durch ein SOLEILsches Polariskop geschlossen. So lange die beiden senkrecht gegen einander polarisirten Lichtmengen ungleiche Intensität haben, sieht man vier complementär gefärbte Halbkreise. Die Farben verschwinden, wenn man beide Lichtmengen dadurch gleich macht, dafs man die Entfernung der Flammen verändert. In diesem Instrumente ist also die Vergleichung der Lichtstärke für das Auge zurückgeführt auf die Vergleichung der Farben benachbarter Flächen.

Im Princip ähnlich ist das auf einer Idee von NEUMANN beruhende Photometer von WILD,[4] aber durch die Abänderung des physiologischen Theils des Apparates ist in diesem Instrumente ein hoher Grad von Empfindlichkeit erreicht. Die beiden zu vergleichenden Strahlen fallen parallel mit einander auf das Instrument und werden schliefslich zur Deckung gebracht, indem der eine unter dem Polarisationswinkel erst von einer Glasplatte $A$ und dann von einem ihr parallelen Satze von Glasplatten $B$ reflectirt und vollständig polarisirt wird, während der andere Strahl durch den Glassatz $B$ hindurchgeht. Ehe dieser zweite Strahl jedoch unter dem Polarisationswinkel auf den Glassatz $B$ trifft, ist er schon durch einen eben solchen Glassatz $C$ hindurchgegangen. Der Glassatz $C$ ist um eine Axe drehbar, so dafs der Strahl ihn unter verschiedenen genau mefsbaren Winkeln passiren kann, wodurch die Menge des durchgelassenen Lichts und das Verhältnifs seiner Polarisation geändert wird. Übrigens ist der Glassatz $C$ so gestellt, dafs die Polarisation, die der Strahl in ihm erhält, entgegengesetzt ist derjenigen, welche ihm der Glassatz $B$ mittheilen würde. Lassen wir den zweiten Strahl senkrecht durch $C$ gehen, so fällt er unpolarisirt auf $B$ und wird hier entgegengesetzt dem ersten reflectirten Strahle polarisirt, mit dem er übrigens von da ab auf demselben Wege vereinigt weiter geht. Wird $C$

[1] BEER, *Pogg. Ann.* LXXXVI. 78–88.
[2] ZÖLLNER, *Photometrische Untersuchungen.* Dissertat. Basel 1859.
[3] BABINET, C. R. XXXVII. 774.
[4] WILD, *Pogg. Ann.* XCIX. 235.

mehr und mehr geneigt, so nimmt die Menge polarisirten Lichts im zweiten Strahle mehr und mehr ab, und zwar in einem Verhältnisse, welches man nach Messung des Einfallswinkels berechnen kann. Mit dem vollständig polarisirten ersten Strahle wird also eine variable Menge theils entgegengesetzt polarisirten, theils natürlichen Lichts des zweiten Strahls gemischt. Dieses gemischte Licht geht nun schliefslich durch eine senkrecht zur Axe geschnittene Kalkspathplatte und einen Turmalin. Ist die Menge polarisirten Lichts in beiden Strahlen gleich grofs, so sieht der Beobachter nichts von dem Kreuz mit Ringen in der Kalkspathplatte, wohl aber wird dieses Kreuz sichtbar, sobald die Mengen polarisirten Lichts in beiden Strahlen nicht gleich grofs sind. Die Empfindlichkeit des Auges im Erkennen der Polarisationsfigur des Krystalls zeigte sich aufserordentlich grofs, so dafs bei wiederholten Einstellungen das Verhältnifs der Intensitäten sich nur um ein $1/_{300}$ verschieden fand. Eine noch gröfsere Genauigkeit hat WILD[1] in seinem neueren Photometer erreicht, wo er statt der polarisirten Glasplatten doppeltbrechende Krystalle und als Polariskop zwei gekreuzte Bergkrystallplatten benutzte, welche unter 45° gegen die Axe geschnitten sind. Durch Linsen sind die Strahlen, die hindurchgehen, parallel gemacht. Dergleichen Platten zeigen ein geradliniges Fransensystem, von dem bei passender Einstellung des Apparates nur ein Querstreifen ausgelöscht wird, während zu beiden Seiten die Farben complementär sind. Der Beobachter kann sehr genau auf die Mitte der ausgelöschten Fransen das Fadenkreuz einstellen. Nach WILDS Angaben beträgt der Fehler bei einmaliger Einstellung nur zwischen 0,001 und 0,002 der Lichtstärke.

Schon TALBOT[2] hat zur Schwächung des Lichts eine rotirende Scheibe mit schwarzen und durchsichtigen Sectoren angewendet, und dieses Mittel ist auch von BABINET und SECCHI[3] zu Messungen der Sternhelligkeiten, später von AUBERT (s. § 22) angewendet worden.

Von POUILLET[4] ist zur Erleichterung des physiologischen Theils der photometrischen Methoden vorgeschlagen worden, Lichtbilder zu gebrauchen, die nach DAGUERRES Verfahren auf polirten Silberplatten ausgeführt sind. Um ein solches Bild positiv zu sehen, mufs 333
es von der Seite beleuchtet sein, der Beobachter aber mufs so stehen, dafs er irgend einen dunklen Körper, aber nicht das einfallende Licht von der Platte gespiegelt erblickt. Erblickt er im Gegentheil einen sehr hellen Körper von der Platte gespiegelt, so erscheint das Bild negativ, was hell sein sollte, dunkel, und umgekehrt. Dazwischen aber giebt es eine gewisse Helligkeit der gespiegelten Fläche, bei welcher das Bild ganz verschwindet, während es bei der geringsten Vermehrung oder Verminderung der Helligkeit positiv oder negativ auftaucht.

Ein von den bisherigen ganz abweichendes physiologisches Princip der Photometrie hat SCHAFHÄUTL[5] benutzt, für dessen Richtigkeit er aber bisher den Beweis noch schuldig geblieben ist. Er behauptet, das Zeitintervall, welches zwischen zwei gleichartigen Lichteindrücken verfliefsen kann, ohne dafs das Auge die Unterbrechung bemerkt, sei proportional der Wurzel aus der Intensität des Lichts. Sein Apparat besteht aus einer Stahlfeder, die an ihrem unteren Ende so eingeklemmt ist, dafs sie in ihrer Gleichgewichtslage vertical steht. An ihrem oberen Ende trägt sie einen rechtwinkligen Schirm von dünnem geschwärzten Kupferblech, der in der Mitte von einer rechteckigen Öffnung durchbrochen ist. Durch eine horizontale, von zwei Dioptern geschlossene Röhre sieht der Beobachter auf den Schirm, welchen die Feder trägt; dahinter ist die Lichtquelle so aufgestellt, dafs ihr Licht nur dann in das Auge des Beobachters dringen kann, wenn der Schlitz des Schirms in der Axe der Diopterröhre sich befindet. Die Feder wird so lange verkürzt, bis das Bild der Lichtquelle nicht mehr zitternd, sondern ruhig erscheint.

[1] WILD, *Mitth. der bernischen naturf. Ges.* 1859. No. 427—429.

[2] TALBOT, *Pogg. Ann.* XXXV. 457. 464. *Phil. Magaz.* Nov. 1834. p. 327. Darüber PLATEAU in *Bullet. de l'Acad. de Bruxelles.* 1835. p. 52.

[3] BABINET und SECCHI, *Arch. d. sc. phys. de Genève.* XX. 121—122. *Mem. dell' Osservatorio di Roma. Cosmos.* I. 43.

[4] POUILLET, C. R. XXXV. 373—379. *Pogg. Ann.* LXXXVII. 490—498. *Inst.* 1852 p. 301. *Cosmos.* I. 546—549.

[5] SCHAFHÄUTL, Abbildung und Beschreibung des Universal-Vibrations-Photometer. *Münchner Abhandl.* VII. 465—497.

Die Lichtintensitäten sollen den Quadraten der Schwingungszeiten (umgekehrt?) proportional sein, oder den vierten Potenzen der Federlängen. Selbst wenn wir die erstere Proportionalität zugeben wollten, würde die letztere bei einer schwingenden belasteten Feder nicht zutreffen.

Endlich ist hier noch die Methode zu erwähnen, welche FRAUNHOFER[1] gebraucht hat, um die Lichtstärke der verschiedenen Farben des Spectrum von Glasprismen unter einander zu vergleichen. Das Spectrum, wurde wie gewöhnlich, durch ein Fernrohr beobachtet, vor dessen Objectiv $A$ (*Fig. 178*) ein Prisma $P$ gesetzt ist. $B$ ist die Ocularlinse. Innerhalb der Ocularröhre ist, 45° gegen die Axe des Fernrohrs geneigt, ein kleiner Stahlspiegel $s$ befestigt, dessen eine scharfe Kante in der Brennebene des Oculars liegt und die Fernrohraxe schneidet. In der vom Spiegel nicht bedeckten Hälfte der Ocularblendung erscheint ein Theil des prismatischen Spectrum. Der Spiegel dagegen reflectirt das Licht einer kleinen Ölflamme $L$, welche in einem seitlich der Ocularröhre angesetzten, oben und unten aufgeschlitzten Rohre verschiebbar ist. Vor dieser Flamme ist eine kleine Blendung $b$ angebracht, durch die die sichtbare leuchtende Fläche begrenzt ist. Dem Beobachter erscheint dieses Licht nur in einem breiten Zerstreuungskreise, dessen Helligkeit dem Quadrate der Entfernung $sb$ umgekehrt proportional ist. Man verschiebt nun die Lampe so lange, bis die Helligkeit der beiden in der Ocularblendung erscheinenden Halbkreise gleich ist, d. h. bis die Grenze beider am undeutlichsten erscheint. Die Versuche von FRAUNHOFER haben sehr wenig übereinstimmende Zahlen für die Hellig-
334 keit der verschiedenen Theile des Spectrum gegeben, wahrscheinlich hauptsächlich deshalb, weil ihm der Einfluſs der absoluten Intensität auf die relative Helligkeit der Farben unbekannt war.



*Fig. 178.*

Die ersten Messungen über die Empfindlichkeit des Auges für Lichtunterschiede hat BOUGUER ausgeführt und dabei gefunden, daſs die wahrnehmbare Differenz ein nahehin constanter Bruchtheil der ganzen Intensität sei. Dasselbe Gesetz wurde später von STEINHEIL, MASSON, ARAGO, VOLKMANN bei photometrischen Messungen wiedergefunden und von FECHNER ausführlich behandelt.

Die Beobachtungen über die verschiedene relative Helligkeit der Farben sind zum Theil von PURKINJE, später vollständig von DOVE, an Spectralfarben von HELMHOLTZ ausgeführt.

Unter den Gegenständen dieses Paragraphen sind über die Irradiation die meisten Untersuchungen und Streitigkeiten geführt worden. Die Thatsache, daſs helle Gegenstände unter Umständen vergröſsert erscheinen, drängte sich natürlich schon früh der Beobachtung auf. PLATEAU citirt EPICURS Brief an PYTHOCLES, in dem erwähnt wird, daſs eine Flamme bei Tage in der Ferne kleiner aussehe, als bei Nacht, und daſs deshalb auch wohl die Sterne zu groſs erscheinen könnten; dann den Anfang der dritten Satire des PERSIUS. — *Jam clarum mane fenestras Intrat et angustas extendit lumine rimas.*

Später waren es besonders die Astronomen, welche die Erscheinungen der Irradiation untersuchten, weil sie sich bei ihren Beobachtungen über die Gröſse der Himmelskörper störend bemerklich machte. KEPPLER[2] schob sie hauptsächlich auf mangelnde Accommo-

[1] FRAUNHOFER, *Gilberts Ann.* 1817. Bd. 56. S. 297.
[2] KEPPLER, *Paralipomena.* p. 217, 220, 285.

dation und hat damit allerdings das Wesentliche der meisten dazu gehörigen Erscheinungen getroffen. Ebenso studirte sie GALILEI[1] genauer; er spricht es aus, daſs sie desto lebhafter ist, je gröſser der Unterschied des hellen Objects und des dunklen Grundes, daſs helle Objecte stets vergröſsert, dagegen dunkle Objecte auf hellem Grunde (Mercur und Venus vor der Sonne) verkleinert erscheinen, daſs die Vergröſserung sehr kleiner Objecte am bedeutendsten ist. Anfangs glaubte er, wie GASSENDI,[2] annehmen zu dürfen, daſs leuchtende Gegenstände die umgebende Luft entzündeten, später aber suchte er den Grund richtiger in unregelmäſsigen Brechungen im Auge. Auch GASSENDI glaubte später, daſs die Sterne bei Nacht gröſser erschienen, weil die Pupille weiter sei. Für sein Auge schwankte der Durchmesser des Mondes, je nach der Helligkeit des Grundes zwischen 33′ und 38′. Die Verkleinerung kleiner Gegenstände auf hellem Grunde erörtert namentlich SCHICKARD,[3] der zugleich die Behauptung aufstellte, daſs das Licht am Rande dunkler Objecte sich zum Theil in den Schattenraum hinein ausbreite, wie denn auch später LE GENTIL[4] die Irradiation durch Diffraction zu erklären suchte. Dagegen suchte HORROCKES[5] in GALILEIS Sinne zu vertheidigen, daſs die Irradiation ihren Sitz im Auge habe. DESCARTES meinte, daſs beim Anblick heller Gegenstände die Pupille sich verengere, das Auge einem nahe sehenden ähnlich werde, und dadurch die Beurtheilung der Entfernung und Gröſse solcher Objecte verändert werde, auſserdem aber könne die Bewegung der Netzhautelemente, wenn sie sehr heftig werde, auf die benachbarten übertragen werden, so daſs das empfundene Bild gröſser erscheine. Hierdurch ist DESCARTES der Urheber der auf Übertragung der Nervenerregung gegründeten Theorie der Irradiation geworden. Als nun später die Astronomen stark vergröſsernde und gutgearbeitete Fernröhre zu gebrauchen anfingen, machte sich die Irradiation bei den gröſseren Gestirnen kaum noch merklich, und man fing an, sie zu bezweifeln und zu leugnen,[6] während andere Astronomen ihre Existenz anerkannten.[7] Bei den astronomischen Beobachtungen vermischen sich in der Regel die Wirkungen der chromatischen und sphärischen Aberration des Fernrohrs mit denen der Unvollkommenheiten des Auges, und es muſste hier nothwendig das Urtheil der Astronomen, welche Fernröhre gebrauchten, verschieden ausfallen, je nach der Beschaffenheit des Fernrohrs. Daſs bei den besten Fernröhren die Irradiation sich in den Messungen nicht mehr merklich macht, hat namentlich BESSEL 1832 beim Durchgang des Mercur vor der Sonne gezeigt.

Während die Astronomen meistens nur die Frage verhandelten, ob Irradiation bestehe oder nicht, die Frage über ihre Ursachen dagegen übergingen, fingen andere Naturforscher auch an, letztere Frage zu behandeln. J. MÜLLER[8] betrachtete anfangs die 335
Irradiation, wie wir es oben gethan haben, als eine Ausbreitung objectiven Lichts, später wurde er selbst, sowie die meisten anderen Physiologen jener Zeit, in welcher sich auch die Lehre von den Mitempfindungen entwickelte, durch die sehr ausführliche Arbeit von PLATEAU[9] über die Irradiation bewogen, sie von einer Übertragung der Reizung von einem Netzhautelement auf das andere abzuleiten. Die Erscheinungen, welche PLATEAU als Irradiation beschreibt, sind von der Art, wie sie ein schwach kurzsichtiges Auge an entfernteren Gegenständen sehen muſs, es sind also meist Erscheinungen unvollkommener

---

[1] GALILEI, *Opere di Galilei.* T. II. p. 18; 255—257, 396; 467—469. *Systema cosmicum.* Lyon 1641 Dial. III. p. 248.

[2] GASSENDI, *Opera omnia.* Florenz 1727. T. III. p. 385, 567, 583—585. T. I. pag. 499—508.

[3] SCHICKARD, *Pars responsi ad epistolas P. Gassendi de Mercurio sub sole viso.* Tubingae 1632.

[4] LE GENTIL, *Mém. de l'Acad. d. Sc. de Paris.* 1784. p. 469. (Gelesen 1743.

[5] HORROCKES, *Venus in sole visa.* Cap. XVI. Abgedruckt hinter HEVELIUS' *Mercurius in sole visus.*

[6] BIOT, *Traité élémentaire d'astronomie physique*, édit. 2me pag 534. 536. — DELAMBRE, *Astronomie théorique et pratique.* T. II. chap. 26. § 197. T. III. chap. 29. § 12. — BESSEL, *Astronom. Nachrichten* 1832. No. 228.

[7] HASSENFRATZ, *Cours de physique céleste.* 1810. p. 23. — J. HERSCHEL, *On light.* T. I. § 697. — QUETELET, *Positions de Physique.* 1829. T. III. p. 81. — BRANDES in *Gehler's physikal. Wörterbuch.* Neu bearbeitet. V. 796. ROBISON, *Mem. of the Roy. Astron. Soc. of London.* V. p. 1.

[8] J. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes.* 1826. S. 400.

[9] PLATEAU, *Mém. de l'Acad. de Bruxelles.* T. XI. *Pogg. Ann.* Ergänzungsband. I. S. 79. 193. 405.

Accommodation. Diese Deutung weist er aber zurück, weil er auch die geringe Irradi welche sehr helle Gegenstände in der Entfernung des deutlichen Sehens zeigen, beoba hatte, und die übrigen Ursachen der Lichtzerstreuung im Auge, welche in diesem wirksam werden, noch nicht kannte. Er stützt sich ferner darauf, dafs nach s Versuchen die Irradiation bei verschieden entfernten Objecten immer dieselbe W: gröfse behalte; doch beziehen sich seine Messungen nur auf Entfernungen von meh 0,6 Meter, also auf Distanzen, innerhalb deren sich der Accommodationsfehler nicht merklich änderte. Auffallend ist, dafs ihn seine Versuche mit Linsen, die die ri Sehweite herstellten und damit die Irradiation aufhoben, nicht auf die richtige Erkl: geleitet haben. Ebenso möchte es schwer sein, seinen Satz, dafs zwei benach Irradiationen sich gegenseitig schwächen, mit irgend einer Voraussetzung, wie empfindungen erregt werden mögen, zu vereinigen. Denn wenn die Netzhautt welche im Bilde des schwarzen Streifens liegen, von beiden Seiten her in Erregung ve werden, mufs ihre Erregung nothwendig stärker werden, als wenn nur an einer ein helles Feld anstöfst. PLATEAU mufs die genannte Behauptung aufstellen, um z klären, dafs ein feiner schwarzer Strich auf einem hellen Felde überhaupt noch gesehen wenn der Strich schmaler ist, als die Breite der Irradiationssäume; während sich einfach erklärt, wenn man annimmt, die Irradiation rühre von Zerstreuungsbildern

Eine Kritik der Arbeit von PLATEAU hat FECHNER und später ausführ H. WELCKER[1] gegeben und die Erklärung von KEPPLER wiederhergestellt, welche i That bei Weitem die meisten Fälle der Irradiation umfafst. Hinzuzusetzen wär WELCKERschen Arbeit eben nur noch, dafs sehr kleine und sehr helle Gegenstände in der Entfernung des deutlichsten Sehens Irradiation zeigen wegen der übrigen . der Abweichung der Strahlen im Auge. An WELCKER schlossen sich Andere an, w die verschiedenen Arten der Lichtzerstreuung im Auge für die Erklärung der Irrad: gebrauchten, namentlich lenkten FLIEDNER[2] und H. MEYER[3] (Leipzig), CRAMER die merksamkeit auf die monochromatischen Abweichungen des Auges, FICK auf die matische. Es fehlte aber den bisher gegebenen objectiven Erklärungen der Irradi immer noch der Grund, warum nur die Erhöhung der Helligkeit auf dem dunklen Gr und nicht zugleich die Schwächung am Rande der hellen Fläche wahrgenommen Diesen, meint der Verfasser, in der obigen Darstellung nachgewiesen zu haben.

## §. 22. Die Dauer der Lichtempfindung.

Wenn ein Muskelnerv durch einen kurzdauernden elektrischen Sc erregt wird, so vergeht eine kurze Zeit (etwa 1/60 Sec.), ehe die Wir
337 der Reizung durch Contraction des Muskels sichtbar wird, und es ver eine viel längere Zeit (etwa 1/6 Sec.), ehe die Wirkung der Reizung den Muskel wieder verschwindet. Die Veränderung, welche durch die Rei in den organischen Theilen eintritt, verläuft also viel langsamer, als elektrische Entladung, welche die Reizung bewirkte. Dasselbe findet Auge statt. Wir können allerdings bis jetzt noch nicht nachweisen, die Empfindung später entsteht, als das Licht einzuwirken anfängt, wohl, dafs sie noch andauert, wenn das Licht schon aufgehört hat. zuwirken.

Die Dauer der Nachwirkung ist desto gröfser, je stärker das einwirk Licht gewesen ist, und je weniger ermüdet das Auge. Wenn man e Augenblick nach der Sonne oder in eine helle Lichtflamme geblickt hat

[1] H. WELCKER, *Über Irradiation und einige andere Erscheinungen des Sehens.* Giessen 1852.
[2] FLIEDNER, *Pogg. Ann.* LXXXV. 348.
[3] H. MEYER, *Pogg. Ann.* LXXXIX. 540.

## Für den Buchbinder:

*Die im Bogen 24 befindlichen Seiten 383/84 sind durch das angebogene Blatt zu ersetzen.*

*Die Verlagsbuchhandlung*
*Leopold Voss.*

Thatsache, dafs die Beschaffenheit des farbigen Lichtes eine Function nur dreier Variablen ist. auf die Wahl der Grundfarben, welche erst viel später Wünsch und Thomas Young zu ändern suchten, hatten die Erfahrungen über gemischte Pigmente den entschiedensten Einflufs. Man meint aus Gelb und Blau Grün zusammensetzen zu können. Das ist richtig, wenn man es auf die Pigmente bezieht, aber nicht für farbiges Licht.

Newton setzte zuerst farbiges Licht zusammen, und zwar das des prismatischen Spectrum, benutzte aber daneben für Aufstellung der Regel der Farbenmischung die Mischung farbiger Pulver, und legte auf die Abweichungen zwischen beiden, die ihm nicht ganz entgangen zu sein scheinen, kein grofses Gewicht, da ihm die experimentellen Hülfsmittel noch fehlten, die Sache genauer zu verfolgen. Er erwähnt, dafs aus *subflavum* und *cyaneum* (d. h. gründlich Gelb und Cyanblau) nur ein weifsliches Grün zu erzeugen 307
sei. Newton stellte auch zuerst einen genaueren Ausdruck des Gesetzes der Farbenmischung hin, indem er es auf die oben besprochene graphische Darstellung und Schwerpunktconstructionen zurückführte. Sein Gesetz entsprach den vorliegenden experimentellen Erfahrungen, eine genauere Prüfung hat er nicht versucht. Seine Darstellung des Systems der Farben auf einem Kreise war eine Erweiterung des Systems dreier objectiver Grundfarben; über das Ungenügende des letzteren Systems spricht er sich aber nirgends aus.

Dagegen kehrten die späteren Physiker bei ihren Versuchen, das System der Farben zu ordnen, meist zum System der drei Grundfarben zurück, so le Blond 1735, du Fay 1737, Tobias Mayer 1758, J. H. Lambert 1772, D. R. Hay, J. D. Forbes. Ihre Farbensysteme sind praktisch ausgeführt meist in der Weise, dafs sie bestimmte Pigmente nach bestimmten Gewichtsverhältnissen mischten. Mayer brauchte Zinnober, Königsgelb, (chromsaures Bleioxyd) und Bergblau (Kobaltglas), Lambert Carmin, Gummigutt, Berlinerblau (Eisencyanürcyanid). Letzterer bestimmte auch die Sättigungsverhältnisse dieser Farbstoffe, indem er die Gewichtsmengen bestimmte, in denen je zwei gemischt werden müssen, um eine Mischfarbe hervorzubringen, welche gleich weit von den Farben ihrer beiden Bestandtheile entfernt sei. Er mufste nehmen von Carmin 1 Theil, von Berlinerblau, 3 Theile, von Gummigutt 10 Theile. Letztere Gewichte wählte er dann als Mafseinheiten bei Anfertigung der Mischungen. Übrigens fallen die Mischungen so weit von einander entfernter Farbstoffe immer ziemlich unansehnlich und grau aus.

Neuere Beobachtungen, welche unter Umständen, wo Mischung farbigen Lichts zu erwarten war, von den bisherigen Regeln abweichende Resultate lieferten, machten 1829 Plateau am Farbenkreisel, Volkmann 1838 an Zerstreuungsbildern, ohne aber dadurch zu einer näheren Untersuchung des Widerspruchs geführt zu werden. Ich selbst wurde durch Versuche über Mischung der Spectralfarben zu der Erkenntnifs geführt, dafs Mischung des Lichts und Mischung von Pigmenten verschiedene Resultate gebe, und erörterte die Gründe davon. Ich hatte hierbei die Mischung der Spectralfarben mittelst des *v*förmigen Spaltes benutzt und nur aus Gelb und Indigoblau Weifs erhalten, nicht aus irgend welchen anderen Paaren von Spectralfarben. Dies widersprach dem Mischungsgesetz von Newton und veranlafste Grassmann zu einer ausführlichen Erörterung der Principien von Newton's Mischungsgesetz. Die Untersuchung der gemischten Spectralfarben nach einer besseren Methode, welche ich ausführte, hob die scheinbaren Widersprüche gegen Newton's Regel auf, so weit sie sich auf die Anwendbarkeit der Schwerpunktsconstructionen beziehen: dagegen mufste ich freilich die Kreisform des Farbenfeldes Grassmann gegenüber für unerwiesen erklären. Endlich sind die Principien von Newton's Mischungsgesetz experimentell geprüft worden 1857 durch Maxwell.

Th. Young's Theorie der Farbenempfindungen ist wie so vieles, was dieser bewunderungswürdige Forscher seiner Zeit voraneilend geleistet hatte, unbeachtet liegen geblieben, bis ich selbst und Maxwell wieder auf sie aufmerksam machten. Man begnügte sich mit der Annahme, dafs der Sehnerv verschiedenartiger Empfindungen fähig sei,

ohne weiter nach dem Grunde zu suchen, warum das System dieser Empfindungen eben ein solches sei, wie es das Auge darbietet.

n Bald nach der Veröffentlichung der ersten Auflage dieses Buches erschien die Farbentheorie von E. HERING.[1]

## 309 § 21. Von der Intensität der Lichtempfindung.

Die Intensität des objectiven Lichts ist gleich zu setzen der lebendigen Kraft der Ätherbewegung, und diese bei einfarbigem, geradlinig polarisirtem Lichte proportional dem Quadrate der gröfsten Geschwindigkeit der Ätherteilchen. Wenn Licht aus verschiedener Quelle oder von verschiedener Polarisationsrichtung zusammentrifft, wird die Gesammt-Intensität gleich der Summe der einzelnen Intensitäten.

Wir wollen zunächst untersuchen, wie die Intensität der Lichtempfindung sich verhält, wenn die Intensität des objectiven Lichts sich verändert, ohne dafs die Farbe geändert wird. Wir können diese Verhältnisse an weifsem Lichte studiren; einfaches Licht verhält sich nicht wesentlich anders.

Zunächst ist nachzuweisen, dafs die kleinsten wahrnehmbaren Abstufungen der Lichtempfindung nicht gleichen Differenzen der objectiven Helligkeit (S. 209) entsprechen. Man beleuchte eine weifse Tafel mit einem schwachen Lichte, welches die Helligkeit $h$ erzeuge, und stelle einen Körper auf, der auf die Tafel einen Schatten wirft, so dafs innerhalb der Grenzen des Schattens die Tafel von jenem ersten Lichte nicht getroffen wird. Dann bringe man ein zweites Licht hinzu von der Helligkeit $H$, welche dadurch verändert werden kann, dafs man dies zweite Licht der Tafel nähert und entfernt. Dann ist die objective Helligkeit im Schatten $H$, aufserhalb des Schattens $H+h$. Ist nun die Helligkeit $H$ sehr gering, so wird das Auge den Schatten erkennen, d. h. die Helligkeit $H$ von der $H+h$ unterscheiden. Aber der Versuch lehrt, dafs, wie grofs auch $h$ sein mag, doch stets eine gröfsere Helligkeit $H$ existirt, bei welcher der Schatten unsichtbar wird, bei welcher die Differenz $h$ der objectiven Helligkeit also nicht mehr eine wahrnehmbare Steigerung der Empfindung hervorbringt.

Ein Licht von der Stärke des Mondlichts wirft einen wahrnehmbaren Schatten auf weifses Papier. Bringt man eine gut brennende Lampe nahe an das Blatt, so verschwindet der Schatten. Wiederum verschwindet der
310 Schatten, den das Lampenlicht wirft, wenn man die Sonne auf das Papier scheinen läfst. Ja, die Helligkeit einer Flammenfläche einer gut brennenden Lampe mit ringförmigem Dochte ist für das Auge kaum noch von der doppelten Helligkeit zu unterscheiden. Es sind solche Flammen hinreichend durchsichtig, wie man das leicht erkennt, wenn man ihr lichtschwaches Spiegelbild in einer unbelegten Glastafel betrachtet und dann eine zweite Flamme

[1] E. HERING. *Sitzungsber. der Wiener Akad.* vom 15. Mai 1874.
— *Zur Erklärung der Farbenblindheit.* *Lotos, Neue Folge* I. 1880. Prag.
*Kritik einer Abhdlg. von Donders.* *Lotos. Neue Folge* II. 1882 Prag.
*Individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes.* *Lotos. Neue Folge* VI. Prag. 1885.
*Newton's Gesetz der Farbenmischung.* *Lotos. Neue Folge* Bd. VII. Prag. 1887.
*Pflüger's Archiv* Bd. XLI S. 20. 1887. Bd. XLII S. 488. 1888.

dann plötzlich die Augen schliefst und mit der Hand bedeckt, oder in einen absolut dunklen Hintergrund blickt, so sieht man noch kurze Zeit auf dem dunklen Grunde eine helle Erscheinung von der Gestalt des vorher gesehenen hellen Körpers, welche allmählich erblafst und dabei auch ihre Farbe verändert. Die Nachbilder sehr heller Objecte sind am leichtesten zu sehen, weil sie am längsten dauern. Übrigens kann man auch von weniger hellen Objecten solche Nachbilder, wie sie hier beschrieben sind, erhalten, wenn nur das Auge vorher im Dunkeln gehörig ausgeruht ist, und man dann für einen Augenblick das Object betrachtet. Ein solches Nachbild eines hellen Körpers auf dunklem Grunde hat im ersten Augenblicke die Farbe des Objects und zeigt oft sehr genau noch die einzelnen Theile des Objects in richtiger Gestalt und Schattirung. Dreht man z. B. in einem übrigens unbeleuchteten Zimmer eine Lampe aus, indem man im letzten Augenblicke nach der Flamme hinblickt, so sieht man nachher noch im Dunkeln das helle Bild der Flamme, umgeben von dem etwas schwächeren der Glocke u. s. w. Ändert man die Richtung des Auges, so bewegt sich das Nachbild in gleichem Sinne, so dafs es immer diejenige Stelle des Gesichtsfeldes einnimmt, welche der ursprünglich vom Lichte getroffenen Stelle der Netzhaut entspricht. Damit das Nachbild recht scharf gezeichnet sei, ist es nöthig am Object einen einzigen Punct scharf zu fixiren. Wenn das Auge gewankt hat, ist das Nachbild verwaschen, oder man sieht auch wohl zwei oder drei Bilder des Objects sich theilweise deckend. Ist das Bild recht scharf gezeichnet, so kann man unter günstigen Umständen an diesem Nachbilde Einzelheiten bemerken, auf die man während der Betrachtung des Objects selbst die Aufmerksamkeit nicht gewendet, und die man deshalb übersehen hatte.

Dergleichen Nachbilder heller Objecte, in denen die hellen Theile des Objects hell, die dunkeln dunkel erscheinen, und die deshalb **positive Nachbilder** genannt werden, vermischen sich übrigens gewöhnlich, während sie allmählich verschwinden, mit anderen Bildern, in denen das Helle des Objects dunkel, das Dunkle hell erscheint, mit **negativen** Nachbildern, welche hauptsächlich dadurch hervorgerufen zu sein scheinen, dafs die Empfänglichkeit der Netzhaut für Licht ebenfalls durch die vorausgegangene Lichtwirkung verändert worden ist. Es lassen sich diese beiden Arten von Erscheinungen in der Beschreibung nicht streng von einander trennen. Ich werde deshalb die genauere Schilderung der positiven Nachbilder erst im nächsten Paragraphen mit der der negativen zusammen geben, und in diesem 338
Paragraphen mich darauf beschränken die Wirkungen schnell wiederholter Lichteindrücke zu beschreiben, bei denen die Nachdauer des Lichteindrucks rein zur Erscheinung kommt, ohne wesentlich durch die veränderte Reizempfindlichkeit des Auges gestört zu werden.

Die Hauptthatsache dieses Gebietes ist die, dafs **hinreichend schnell wiederholte Lichteindrücke ähnlicher Art dieselbe Wirkung auf das Auge ausüben, wie eine continuirliche Beleuchtung.**

Die Wiederholung des Eindrucks mufs zu dem Ende nur so schnell geschehen, dafs die Nachwirkung eines jeden Eindrucks noch nicht merklich nachgelassen hat, wenn der nächste eintritt.

Am leichtesten zeigen dies die rotirenden Scheiben. Wenn sich auf einer schwarzen Scheibe ein heller weifser Punct befindet, und die Scheibe rotirt schnell genug, so erscheint an Stelle des rotirenden Punctes ein grauer Kreis, der in allen seinen Puncten ganz gleichmäfsig aussieht, und an welchem nichts mehr von Bewegung zu entdecken ist. Indem das Auge nämlich irgend eine Stelle des scheinbar ruhenden Kreises fixirt, werden die Stellen der Netzhaut, auf welchen der Kreis sich abbildet, in schneller Wiederholung von dem Bilde des weifsen Punctes getroffen, der sich in dem Kreise bewegt. Sie empfangen also einen Lichteindruck, der wegen der Schnelligkeit der Wiederholung continuirlich erscheint und natürlich nicht so stark ist, als wenn fortdauernd weifses Licht auf die Netzhaut fiele; daher nicht weifs, sondern grau erscheint. Bewegt sich dagegen das Auge selbst, so dafs sein Fixationspunct sich in derselben Richtung fortbewegt, wie der helle Punct, so kann letzterer sichtbar und die scheinbare Continuität des grauen Kreises dadurch unterbrochen werden. Es ist leicht ersichtlich, dafs, wenn der Fixationspunct des Auges sich eine Zeit lang genau ebenso schnell und in derselben Richtung fortbewegte, wie der helle Punct, und immer auf diesen geheftet bliebe, sich das Bild des hellen Punctes dauernd auf dem gelben Flecke der Netzhaut befinden würde, und auf die übrigen Stellen des Augengrundes nur das Bild der dunklen Scheibe fallen würde. Unter diesen Umständen erkennt das Auge die Anwesenheit eines weifsen Fleckes an Stelle des grauen Kreises; ebenso wenn die Bewegungen des Fixationspunctes und des hellen Flecks zwar nicht ganz congruent sind, aber die relative Bewegung beider gegen einander verhältnifsmäfsig gering ist.[1]

Befindet sich auf der Scheibe noch ein zweiter heller Punct in derselben Entfernung vom Mittelpuncte wie der erste, so wird auch der zweite scheinbar zu einem hellen Kreise ausgebreitet, welcher mit dem hellen Kreise des ersten Punctes zusammenfällt. Die Eindrücke beider Puncte auf der Retina addiren sich. Ebenso wenn eine gröfsere Zahl heller Puncte auf demselben Kreise stehen. Wenn man sich daher auf einer solchen rotirenden Scheibe Kreislinien gezogen denkt, deren Mittelpunct in der Rotationsaxe der Scheibe liegt: so geben bei der Rotation alle Puncte einer solchen Kreislinie, einzeln genommen, das Bild einer gleichmäfsig beleuchteten Kreislinie, und alle diese
339 kreisförmigen Bilder der einzelnen Puncte fallen auf dieselben Theile der Netzhaut und vereinigen sich hier zu einem Gesammtbilde. Für diese Erscheinung kann man nun folgendes Gesetz aufstellen: *Jede Kreislinie der Scheibe, deren Mittelpunct in der Rotationsaxe liegt, erscheint so, als ob alles Licht, welches sämmtliche Puncte der Kreislinie*

[1] Siehe Dove in *Pogg. Ann.* LXXI. 112. 1846. Stevelly in Silliman J. (2.) X. 401. 1850. — Montigni. *Bull. de Bruxelles.* XVIII. 2. p. 4. Institut 1847. No. 928. p. 332.

von sich geben, gleichmäfsig über die ganze Länge der Kreislinie verbreitet wäre, und zwar scheint dieses Gesetz ebenso gut für einfarbiges wie für vielfarbiges Licht zu gelten. Beziehen wir dieses Gesetz auf die Thätigkeit der Netzhaut selbst, so können wir es so aussprechen: **Wenn eine Stelle der Netzhaut von periodisch veränderlichem und regelmäfsig in derselben Weise wiederkehrendem Lichte getroffen wird, und die Dauer der Periode hinreichend kurz ist, so entsteht ein continuirlicher Eindruck, der dem gleich ist, welcher entstehen würde, wenn das während einer jeden Periode eintreffende Licht gleichmäfsig über die ganze Dauer der Periode vertheilt würde.**

Um die Richtigkeit dieses Gesetzes zu prüfen, construire man sich solche Scheiben, wie *Fig.* 179. Der innerste Ring zeigt die halbe Peripherie Weifs, die andere Hälfte Schwarz; im mittleren Ringe sind zwei Viertel, d. h. wieder die halbe Peripherie, weifs, im äufseren ebenso vier Achtel, der Rest schwarz. Läfst man eine solche Scheibe rotiren, so erscheint sie in in ihrer ganzen Ausdehnung ganz gleichmäfsig grau gefärbt. Nur mufs man darauf achten, dafs die Scheibe schnell genug rotirt, um auch im innersten Ringe einen vollkommen continuirlichen Eindruck zu geben. Ebenso kann man auch das Weifs über andere beliebig lange Bogenstücke der Peripherie vertheilen: vorausgesetzt nur, dafs in allen Ringen der Scheibe die Summe der Winkel, welche das Weifs einnimmt, gleich grofs ist, dann geben alle immer dasselbe Grau. Statt des Schwarz und Weifs kann man auch verschiedene Farben nehmen, und erhält in allen Ringen dieselbe Mischfarbe, wenn die Summe der Winkel, welche jede der beiden Farben in den verschiedenen Ringen einnimmt, gleich grofs ist.

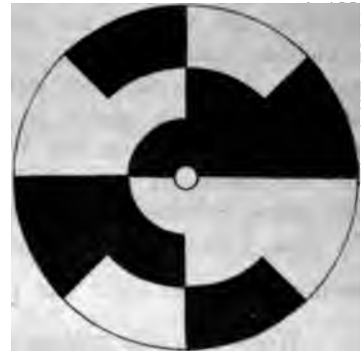


*Fig.* 179.

Auf diese Weise kann man leicht eine grofse Menge von Prüfungen des Gesetzes ausführen, aber freilich immer nur intermittirendes Licht mit intermittirendem vergleichen, und zwar nur unter Umständen, wo die Qualität der beiden Eindrücke, welche abwechseln, in den verschiedenen verglichenen Fällen dieselbe ist.

Um nun die Richtigkeit des Gesetzes auch für solche Fälle zu verificiren, wo intermittirendes Licht mit continuirlichem verglichen werden soll, habe ich die in *Fig.* 179 abgebildete Scheibe angewendet, auf welcher Weifs und Schwarz gleich grofse Winkel einnehmen. Bei der Rotation erscheint ein Grau von der halben Lichtstärke des Weifs. Nun kann man andererseits ein solches Grau hervorbringen, wenn man auf eine schwarze Tafel einen 340
weifsen Streifen legt und diesen durch ein doppeltbrechendes Prisma ansieht. Dann erscheinen zwei Bilder des Streifens, jedes aber von der

halben Helligkeit. Eine gröfsere graue Fläche dieser Art erhält man, wenn man abwechselnd gleich breite weifse und schwarze Streifen auf der Tafel anbringt uud sich mit dem doppeltbrechenden Prisma in eine solche Entfernung stellt, dafs die Doppelbilder der weifsen Streifen sich genau mit denen der schwarzen decken; dann erscheint die ganze Fläche grau mit der halben Helligkeit des weifsen Streifens. Dieses Grau ist nun genau dasselbe, welches durch Umdrehung der Scheibe *Fig 179* entsteht. Natürlich mufs man bei der Vergleichung zu letzterer dasselbe Schwarz und Weifs nehmen, aus dem man die parallelen Streifen gemacht hat, mufs beide Flächen genau gleich beleuchten und auch die rotirende Scheibe durch das doppeltbrechende Prisma betrachten, aber so, dafs sich ihre beiden Bilder nicht trennen, damit auch das Licht der Scheibe der Reflexion und Absorption im Prisma ebenso unterworfen wird, wie das der weifsen Streifen. Plateau erwies dasselbe Gesetz auf folgendem Wege. Er brachte eine rotirende Scheibe mit weifsen und schwarzen Sectoren und eine ganz weifse in verschiedene Entfernung von einem Lichte, bis ihre Helligkeit gleich grofs erschien. Ist die Zahl der weifsen Sectoren $n$, und die Breite jedes einzelnen in Winkelgraden gleich $w$, so ist die Breite aller zusammengenommen gleich $nw$. Hat nun das Weifs in der Entfernung 1 von der Lichtquelle die Helligkeit $H$, und denken wir das Licht, welches es aussendet, über die ganze Scheibe gleichmäfsig verbreitet, so wird die Helligkeit geschwächt in dem Verhältnisse, welches die Fläche der ganzen Scheibe zu der der weifsen Sectoren hat. Die Helligkeit wird also $\frac{nw}{360} H$.

Wenn nun die rotirende Scheibe in der Entfernung $r$ von der Lichtquelle gleich hell ist mit einer ganz weifsen Scheibe in der Entfernung $R$, so mufs sein

$$\frac{nw}{360}\frac{H}{r^2} = \frac{H}{R^2} \text{ oder } \frac{r^2}{R^2} = \frac{nw}{360}.$$

Die Messungen Plateaus stimmen mit diesem Gesetz auch genügend überein.

Ich selbst habe aufserdem auch noch folgenden Weg eingeschlagen. Wenn man eine mit schmalen schwarzen und weifsen Sectoren bedeckte Scheibe hat, so kann man eine scheinbar gleichmäfsige Vertheilung des Lichtes der weifsen Sectoren über die ganze Scheibe hervorbringen, indem man zwischen Auge und Scheibe eine convexe Glaslinse bringt, welche die Accommodation verhindert. Steht die Pupille im hinteren Brennpuncte der Linse, so dafs das Bild, welches die letztere von der Scheibe entwirft, in die Fläche der Pupille fällt, und gröfser ist als die Pupille, so erscheint das Licht der hellen Sectoren gleichmäfsig über das ganze durch die Linse gesehene Gesichtsfeld ausgegossen. Nähert man dagegen die Linse der Scheibe, so sieht das Auge mehr oder minder scharf die einzelnen weifsen und schwarzen Sectoren, so lange die Scheibe stillsteht. Ist die Scheibe in

Bewegung, so bleibt die Helligkeit gleich grofs, man mag die Linse dem Auge oder der Scheibe näher bringen, woraus unmittelbar folgt, dafs das 341
Auge von dem intermittirenden Licht gleich stark, wie von einer gleichen Quantität continuirlich ankommenden Lichts afficirt wird.

Für farbiges Licht geht die Richtigkeit des oben hingestellten Satzes aus den Versuchen von DOVE hervor über die Erscheinungen, welche rotirende Polarisationsapparate darbieten. Wenn zwischen zwei NICOLsche Prismen doppeltbrechende Krystallplatten eingeschaltet sind, so entstehen bekanntlich in vielen Fällen bei gewissen Stellungen der genannten Prismen Farben, die theils gleichmäfsig über das ganze Feld verbreitet sind, theils farbige Figuren bilden. Bei allen diesen Erscheinungen bekommt aber jeder Punct der Figur, wie theoretisch in der Lehre von der Polarisation des Lichts nachgewiesen werden kann, genau die Complementärfarbe, wenn man das eine NICOLsche Prisma um einen rechten Winkel dreht. Der Versuch bestätigt es nun, dafs bei schneller Rotation des einen NICOL das Auge weifs sieht. Schaltet man noch ein farbiges Glas ein, so erhält man bei zwei um 90° verschiedenen Stellungen des einen NICOL Farben, welche vereinigt die Farbe des Glases geben müssen und bei schneller Rotation auch wirklich geben.

Übrigens wird unser Gesetz für intermittirendes farbiges Licht auch bestätigt durch die Übereinstimmung, welche die Resultate der Farbenmischung auf der drehenden Scheibe mit denen haben, die man durch directe Zusammensetzung des farbigen Lichts gewinnt, was in § 20 bei der Lehre von der Farbenmischung schon erwähnt ist. Will man die ganze Scheibe gleichmäfsig mit der Farbe überzogen sehen, so pflegt man die Scheibe in Sectoren abzutheilen und den einzelnen Sectoren verschiedene Färbung zu geben, die aber in der Ausdehnung jedes einzelnen Sectors ganz constant sein mufs. Dann erscheint bei der Rotation die ganze Scheibe in der Mischfarbe. Die Lichtstärke der Mischfarbe ist aber dabei nach dem obigen Gesetz immer das Mittel aus der Lichtstärke der einzelnen gemischten Farben, und da alle Farbstoffe bei gleicher Beleuchtung dunkler als weifs erscheinen, indem sie nur gewisse Farben, die einen Theil des gesammten weifsen Lichts bilden, reflectiren, so ist auch die Mischfarbe immer lichtschwächer, als Weifs, erscheint also, wenn sie wenig gesättigt ist, grau.



*Fig. 180.*

Führt man auf einer Farbenscheibe einen farbigen Stern auf andersfarbigem Grunde aus, wie *Fig. 180*, so sieht man bei der Rotation der Scheibe in der Mitte die Farbe des Sterns, am Rande die des Grundes, dazwischen alle continuirlichen Übergangsstufen der einen Farbe durch die Reihe der Mischfarben in die andere. Überhaupt kann man auf den rotirenden Scheiben die Helligkeit oder die Farbenmischung von

der Mitte nach dem Rande hin nach jedem beliebig gewählten Gesetze sich ändern lassen, indem man die Curven, welche die Sectoren begrenzen, passend wählt, wie wir z. B. schon in *Fig. 159* S. 399 dies Mittel benutzt haben, um eine bestimmte Vertheilung des Halbschattens darzustellen.

342 Auf den rotirenden Scheiben beschreiben die einzelnen Puncte Kreislinien. Dieselbe Continuität des Eindrucks findet natürlich auch statt, wenn ein heller Punct sich in irgend einer anderen geschlossenen Curve bewegt. Überzieht man z. B. eine gespannte Metallsaite mit schwarzer Farbe, macht einen Punct der Saite wieder frei von dem dunklen Überzuge und beleuchtet ihn passend, so erscheint die Bahn dieses Punctes, wenn die Saite in Schwingungen gesetzt wird, als eine continuirliche, oft sehr verschlungene Lichtlinie. Beschreibt der Punct dabei einen Weg, der nicht genau in sich zurückkehrt, aber bei jedem folgenden Umlaufe doch der Bahn des früheren Umlaufs sehr nahe kommt, so erscheint dem Auge eine lichte Linie, die allmählich ihre Gestalt und Lage verändert. In derselben Weise hat WHEATSTONE[1] die Schwingungsformen rechteckig prismatischer Stahlstäbe, LISSAJOUS[2] die Schwebungen von Stimmgabeln beobachtet. Dasselbe Princip hat in der Physik noch eine grofse Zahl von anderen nützlichen Anwendungen erhalten.

Ist die Helligkeit des bewegten Punctes in seiner Bahn constant, aber die Geschwindigkeit verschieden, so erscheint die Lichtlinie an den Puncten am hellsten, wo die Geschwindigkeit am geringsten ist. An solchen Stellen nämlich verweilt der helle Punct verhältnifsmäfsig längere Zeit, und sein Licht wirkt deshalb auch längere Zeit auf die entsprechenden Stellen der Netzhaut als an Stellen gröfserer Geschwindigkeit. Beobachtet man z. B. eine beleuchtete schwingende Saite, so erscheint diese am hellsten da, wo sie am weitesten von der Gleichgewichtslage entfernt ist, und wo ihre Geschwindigkeit für einen Augenblick gleich Null wird.

Hierher gehören auch die eigenthümlichen Wirkungen intermittirender Beleuchtung, welche am schärfsten bei den regelmäfsig wiederholten Funken der magnetelektrischen Inductionsapparate auftreten, sowohl bei denen mit rotirendem Anker, wie bei den NEEFschen Apparaten mit schwingender Feder. Jeder einzelne Funken dieser Apparate hat eine unbestimmbar kurze Dauer, welche im Vergleich mit der Dauer aller Bewegungen materieller Körper unendlich klein erscheint, doch ist das Licht dieser Funken stark genug, um in dieser aufserordentlich kurzen Zeit einen wahrnehmbaren Eindruck auf die Netzhaut zu machen. Bei der Erleuchtung durch einen einzelnen elektrischen Funken erscheinen alle bewegten Körper stillstehend. Das Auge kann sie natürlich nur so wahrnehmen, wie sie sich in dem Momente verhielten, wo sie beleuchtet waren, von ihrer Stellung vor und nach diesem Momente erfährt es nichts. Ist nun die Dauer der Beleuchtung

[1] WHEATSTONE, Description of the Kaleidophone. *New. Quarterly Journal*. I. 1827.

[2] LISSAJOUS, Mémoire sur l'étude optique des mouvemens vibratoires. *Ann. chim. phys.* Sér. III. T LI. 1857.

so kurz, dafs während derselben keine Verschiebung des bewegten Körpers von wahrnehmbarer Gröfse eintreten konnte, so erscheinen seine Umrisse ganz so scharf begrenzt, wie es bei vollkommener Ruhe der Fall sein würde.

Wenn sich nun eine Reihe von elektrischen Funken in sehr kleinen
Zwischenzeiten folgt, so erscheinen ruhende Körper bei dieser Beleuchtung
ganz so, wie bei continuirlichem Lichte; bewegte Körper aber erscheinen
mehrfach. Jeder einzelne Funke zeigt nämlich den bewegten Körper in der
Lage, die er in dem betreffenden Augenblicke einnimmt, und da alle diese
Eindrücke einen Augenblick dauern, so sind sie alle gleichzeitig vorhanden
und lassen den bewegten Körper als mehrfach vorhanden erscheinen. Je
schneller die Bewegung des gesehenen Körpers ist, desto weiter rücken seine 343
Bilder aus einander, weil der Weg, den er während jeder Intermission des
Lichts zurücklegt, gröfser wird.

Ebenso erscheinen nun mehrfache Bilder, wenn nicht die Objecte, sondern das Auge bewegt wird. Wenn sich im Gesichtsfelde ein continuirlich leuchtender Punct befindet, und wir das Auge bewegen, so rückt dabei das Bild des lichten Punctes auf eine andere Stelle der Netzhaut hinüber. Während der Bewegung trifft es nach einander alle continuirlich an einander stofsenden Puncte einer Linie, die den Ort seiner ersten und seiner letzten Lage verbindet; alle diese Puncte werden erregt, und es mufs dadurch für einen Augenblick die Empfindung in der Netzhaut entstehen, welche bei ruhendem Auge eine lichte Linie hervorbringen würde. Gewöhnlich achten wir nicht auf diese Empfindung, weil sie eben jede Bewegung des Auges bei der Gegenwart lichter Objecte im Gesichtsfelde begleiten mufs, wir bemerken es aber, wenn ungewöhnlicher Weise bei intermittirendem Lichte die Continuität dieser Linie unterbrochen ist. Benutzen wir als lichtes Object die Stelle des Inductionsapparates, wo die Funken überschlagen, so erscheint bei Bewegungen des Auges der helle Punct vervielfältigt. Denken wir uns nämlich auf der Netzhaut die Linie gezeichnet, welche das Bild der Funkenstelle beschreibt, so werden von den intermittirenden Funken nur einzelne Stellen dieser Linie erregt, denen entsprechend wir Bilder in das Gesichtsfeld projiciren.

Wenn ein bewegter Körper, den wir bei intermittirendem Lichte betrachten, eine in sich zurücklaufende Bahn beschreibt und zur Zeit jedes Aufblitzens genau an derselben Stelle sich befindet, so erscheint er einfach und stillstehend. Zum Beispiel erscheint die schwingende Feder oder der rotirende Anker der bekannten magnetelektrischen Inductionsapparate beim Lichte ihrer eigenen Funken still zu stehen. Dasselbe geschieht, wenn irgend ein anderer Körper von periodisch veränderlicher Gestalt durch intermittirendes Licht beleuchtet wird, und die Beleuchtung immer mit denselben Phasen seiner Veränderung zusammentrifft; z. B. wenn ein Wasserstrahl, der sich in Tropfen auflöst, so beleuchtet wird, dafs im Moment der Beleuchtung ein neuer Tropfen immer wieder genau an derselben Stelle ist, so sieht der Beobachter den Strahl in stillstehende Tropfen aufgelöst. Dies geschieht,

wenn die Periode der Beleuchtung genau gleich ist der Periode der Tropfenbildung oder einem Multiplum derselben. Fällt die Periode der Beleuchtung nicht genau zusammen mit der Periode der Tropfenbildung, oder einem Multiplum derselben, sondern ist jene ein Weniges länger, so tritt eine scheinbare langsame Bewegung der Tropfen ein, welche die wirkliche Bewegung nachahmt, aber mit sehr verringerter Geschwindigkeit. Es werden dann von den folgenden Funken nicht genau dieselben Phasen der Tropfenbildung beleuchtet, wie von dem ersten, sondern immer weiter fortgeschrittene Zustände der folgenden Perioden dieser veränderlichen Erscheinung. Ist die Periode der Beleuchtung dagegen etwas kürzer, als die Periode der Tropfenbildung oder ein Multiplum derselben, so sieht der Beobachter die Erscheinung rückwärts vor sich gehen. Die Tropfen steigen zum Strahle hinauf und gehen in diesen über. Durch diese Verhältnisse wird es möglich, diese und andere periodische Erscheinungen, welche so schnell vor sich gehen,
344 dafs der Beobachter sie mit dem Auge nicht unmittelbar erkennen kann, in ihren einzelnen Stadien sichtbar zu machen und zu analysiren. Einige künstlich hervorgebrachte Erscheinungen derselben Art werden unten bei Beschreibung der Apparate auseinandergesetzt werden.

Die Dauer des Lichteindrucks auf das Auge bestimmt man am leichtesten mit Hülfe von Farbenscheiben, die eine veränderliche und mefsbare Umlaufsgeschwindigkeit haben. Mit Sicherheit läfst sich dabei nur die Umlaufsgeschwindigkeit bestimmen, welche nöthig ist, um der Scheibe ein ganz gleichmäfsiges Ansehen zu geben. Es zeigt sich dabei, dafs sie desto gröfser gemacht werden mufs, je gröfser die Lichtstärke ist. Auch scheinen die verschiedenen Farben dabei Unterschiede zu zeigen. Plateau liefs bei gewöhnlichem Tageslichte eine mit 12 weifsen oder farbigen und 12 gleich breiten schwarzen Sectoren versehene Scheibe rotiren. Die Dauer des Vorübergangs eines schwarzen Sectors war also der 24. Theil der Umlaufszeit der Scheibe. Diese Zeit war, wenn die Scheibe einen gleichmäfsigen Eindruck machte

| | Plateau. | Emsmann.[1] |
|---|---|---|
| Für Weifs | 0,191 Secunden | 0,25 Secunden |
| „ Gelb | 0,199 „ | 0,27 „ |
| „ Roth | 0,232 „ | 0,24 „ |
| „ Blau | 0,295 „ | 0,22 bis 0,29. |

Auf die Vergleichung der verschiedenen Farben wird hierbei kaum viel Werth gelegt werden können, da ein Mittel, ihre scheinbare Helligkeit genau gleich zu machen, fehlte, und die Helligkeit einen sehr grofsen Einflufs auf die Dauer der Nachwirkung hat. Man erkennt dies leicht, wenn man, einige Fufs entfernt von einer Lampe, einen Farbenkreisel in Bewegung setzt, dessen Geschwindigkeit eben hinreicht, einen gleichmäfsigen Eindruck zu erzeugen, und dann die Lampe nähert, sogleich fängt die rotirende Fläche

[1] Emsmann, *Pogg. Ann* XCI. 611. 1851.

wieder an zu flimmern. Bei directer Sonnenbeleuchtung mufs man noch gröfsere Drehungsgeschwindigkeiten anwenden. Übrigens sind PLATEAUS Zahlen auffallend grofs. Ich selbst finde, dafs bei stärkstem Lampenlicht, welches eine Scheibe mit gleich breiten weifsen und schwarzen Sectoren beleuchtet, der Vorübergang des Schwarz nur etwa $^1/_{48}$ Secunde und auch bei sehr schwacher Beleuchtung im Lichte des Vollmonds nur $^1/_{20}$ Secunde zu dauern braucht, wenn alles Flimmern authören soll. Übrigens hat PLATEAU schon bemerkt, dafs, wenn man das Verhältnifs zwischen der Breite der weifsen und der der schwarzen Sectoren verändert, aber die Zahl der Sectoren constant läfst, die Umlaufszeit dieselbe ist, bei der der Eindruck gleichmäfsig wird. Man kann dies sehr leicht nachweisen durch eine Scheibe, wie *Fig. 181*, an welcher die schwarzen Sectoren nach der Mitte, die weifsen am Rande breiter sind. Das Flimmern hört bei steigender Umlaufsgeschwindigkeit in allen Abtheilungen der Scheibe nahe gleichzeitig auf. Bei breiteren weifsen Sectoren ist die Empfindung stärker und sinkt deshalb schneller, sobald der Reiz fortfällt; daher die Pause, d. h. die Breite des schwarzen Sector, kleiner sein mufs, als bei schmaleren weifsen Sectoren. Es ist also wohl besser, bei den Messungen nach der Gröfse einer ganzen Periode der Beleuchtungsänderung zu fragen, d. h. nach der Summe der Dauer des Vorübergangs eines weifsen und schwarzen Sectors. Diese ist in meinen Versuchen bei stärkstem Lampenlicht also $^1/_{24}$, bei schwachem Licht $^1/_{10}$ Secunde gewesen. LISSAJOUS, welcher den Weg eines sehr hellen Lichtpunctes beobachtete, der die Bewegungen schwingender Stimmgabeln mitmachte, fand der helleren Beleuchtung entsprechend eine noch kürzere Zeit, nämlich $^1/_{30}$ Secunde für die Zeit, während welcher die ganze Curve continuirlich erschien. Nur darf man das Auge nicht bewegen; bei leisen Bewegungen desselben tauchen sehr leicht wieder Flecken auf.



*Fig. 181.* 345

Soll also eine rotirende Scheibe einen ganz gleichmäfsigen Eindruck machen, so mufs man sie 24 bis 30 Mal in der Secunde umlaufen lassen. Aber man kann dasselbe auch durch geringere Umlaufsgeschwindigkeiten erreichen, wenn man die Zeichnung in gleichen Winkelabständen regelmäfsig wiederholt. So wird z. B. auf der Scheibe *Fig. 179* das Schwarz und Weifs der 8 Sectoren des äufsersten Ringes sich schon bei 6 Umläufen der Scheibe zu gleichmäfsigem Grau verbinden, das des mittleren Ringes erst bei 12, das des innersten erst bei 24 Umläufen. Schwerer ist es, die Zeit zu bestimmen, während welcher der Eindruck in abnehmender Stärke nachdauert, ehe er ganz verlischt. Auch diese Zeit ist von der Lichtstärke abhängig, wie schon das früher Gesagte erkennen läfst. Die Nachdauer des hellen Sonnenbildes kann selbst bis zu einigen Minuten dauern. Während also die Wirkung

hellen Lichts im Anfang am schnellsten abnimmt, hat sie doch im Ganzen die längste Dauer, ähnlich wie ein heifser Körper in kühler Umgebung um desto mehr Temperaturgrade in gleicher Zeit sich abkühlt, je heifser er ist, aber auch desto längere Zeit braucht, ehe er seine höhere Temperatur ganz verloren hat. PLATEAU hat an seinen Farbenscheiben auch in dieser Beziehung Messungen angestellt, welche die Zeit des Vorübergangs eines schwarzen Sectors ergeben, wenn die Farbe der hellen Sectoren sich über die schwarzen so ausgebreitet hatte, dafs das Schwarz nirgends mehr rein erschien. Es ergab sich

| | | | |
|---|---|---|---|
| für | Weifs | 0,35 | Secunden |
| für | Gelb | 0,35 | „ |
| für | Roth | 0,34 | „ |
| für | Blau | 0,32 | „ |

Eine verschiedene Dauer der Nachwirkung für die verschiedenen Farben zeigt sich auch noch in den Farbenveränderungen, welche das Nachbild eines weifsen Lichts auf dunklem Grunde erleidet, ehe es ganz verschwindet. Da sich diese Erscheinungen aber mit denen, welche im folgenden Paragraphen beschrieben werden sollen, mannigfaltig vermischen, so möge erst dort ihre genauere Beschreibung folgen.

346 Aus den in diesem Paragraphen geschilderten Thatsachen geht hervor, dafs Licht, welches die Netzhaut getroffen hatte, im Sehnervenapparate eine primäre Wirkung hinterläfst, die erst in den nächstfolgenden Augenblicken sich in Empfindung umsetzt. Die Gröfse der primären Veränderung, die ein momentaner Lichteindruck zurückläfst, hängt nur von der Quantität Licht ab, die auf den betreffenden Theil der Netzhaut gefallen ist, wobei es einerlei ist, ob sehr intensives Licht eine kurze Zeit, oder schwächeres eine längere Zeit gewirkt hat, vorausgesetzt nur, dafs die Zeit der Einwirkung überhaupt kleiner als $^1/_{30}$ Secunde gewesen ist. Die primäre Gesammtwirkung sehr intensiven Lichts fällt also nicht verhältnifsmäfsig schwächer aus, als die mäfsigen Lichts von entsprechend längerer Dauer, wie dies doch bei dauernder Empfindung des Lichts von verschiedener Stärke der Fall ist.

Es liegt hierin kein Widerspruch, wie es wohl scheinen könnte, denn den Mangel der Proportionalität fanden wir zwischen der objectiven Lichtintensität und der fertig ausgebildeten Empfindung, hier haben wir es dagegen nur zu thun mit der augenblicklichen primären Wirkung, die erst später in Empfindung übergehen wird, und es ist kein Hindernifs anzunehmen, dafs die vermuthlich photochemische Wirkung in der Nervenmasse einem anderen Gesetze der Gröfse folge, als die secundäre Wirkung, die Empfindung. Das ganze Verhältnifs wird vielleicht am klarsten durch den Vergleich mit einem Magneten, der in einem galvanischen Multiplicator aufgehängt ist, und durch einen intermittirenden Strom von hinreichend schnellen Intermissionen abgelenkt wird. Auch in diesem Falle hängt die Ablenkung nur ab von der

gesammten Menge von Elektricität, welche in der Zeiteinheit durch den Draht fliefst, ohne doch dieser Menge nothwendig proportional zu sein. Auch hier existirt aber eine der Elektricitätsmenge jedes einzelnen momentanen Stromes proportionale Wirkung, nämlich die kleine Geschwindigkeit, welche er dem Magneten im Sinne der Ablenkung mittheilt, und welche bis zum Eintritt des nächsten Stromes durch die Wirkung des Erdmagnetismus wieder aufgehoben sein mufs, wenn die Ablenkung des Magneten constant bleiben soll. Der Magnet erscheint continuirlich ruhend abgelenkt, wenn die Schwankungen in seiner Lage, welche die einzelnen Stromstöfse hervorbringen, zu klein sind, um wahrgenommen zu werden; so giebt auch ein intermittirendes Licht eine continuirliche Empfindung, wenn die Schwankungen in der Stärke der Empfindung kleiner sind, als die kleinsten wahrnehmbaren Stufen der Empfindung.

Was die Einrichtung der rotirenden Scheiben betrifft, welche MUSCHENBROEK[1] zuerst erwähnt, so sind die einfachsten die Kreisel. Ich pflege für die meisten Versuche einen einfachen aus Messing gedrehten Kreisel zu benutzen, dessen Querschnitt in *Fig. 182* in 1/3 Gröfse dargestellt ist. Er wird nur mit der Hand in Gang gebracht. Man kann ihn deshalb in jedem Augenblicke leicht und ohne Vorbereitung in Bewegung setzen, seine Geschwindigkeit nach Belieben verstärken oder mäfsigen, aber allerdings entspricht das Maximum der Geschwindigkeit, was man ihm mit den Fingern mittheilen kann, nur ungefähr 6 Umdrehungen in der Secunde, wonach er 3 bis 4 Minuten in Bewegung bleibt. Wegen der geringen Rotationsgeschwindigkeit bekommt man einen ganz gleichmäfsigen Lichteindruck nur, wenn die Scheiben in 4 oder 6 Sectoren getheilt und in jedem die gleiche Vertheilung von Farben, Licht und Schatten angebracht ist. Ist die Zahl der gleichen Wiederholungen der Zeichnung eine geringere, so giebt es wenigstens bei starker Beleuchtung ein mehr oder weniger schillerndes Ansehen der Scheibe. Die Zeichnungen kann man selbst während des Ganges der Scheibe leicht darauf werfen und kann auch leicht Veränderungen hervorbringen, wenn man auf eine volle Scheibe eine mit ausgeschnittenen Sectoren wirft, deren Lage auf der unteren man durch Hinstreifen mit den Fingern oder durch Blasen mit dem Munde verändern kann; so lassen sich während des Ganges der Scheibe sehr mannigfaltige Variationen hervorbringen. 34

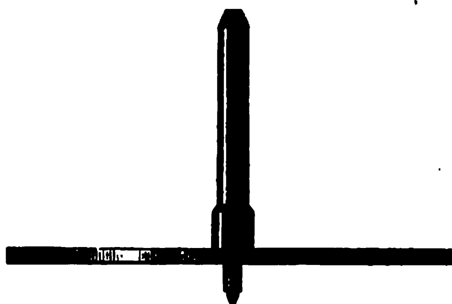


*Fig. 182.*

Giebt man der Scheibe z. B. gleich breite blaue und rothe Sectoren, und legt darauf eine Scheibe mit gleich breiten Sectoren, von denen man den ersten, dritten, fünften u. s. w. schwarz gemacht hat, während der zweite, vierte, sechste u. s. w. fortgeschnitten ist, so wird bei der Rotation die ganze Scheibe blau sein, wenn die schwarzen Sectoren der oberen Scheibe auf die rothen der unteren fallen und diese verdecken, dagegen wird die Scheibe roth erscheinen, wenn die schwarzen Sectoren der oberen Scheibe auf die blauen der unteren fallen; in den Zwischenlagen erhält man verschiedene Mischungen von Roth und Blau und kann daher während des Ganges der Scheibe die eine Farbe allmählich in die andere übergehen lassen, wenn man durch Überstreifen mit dem Finger oder durch Blasen die Lage der oberen Scheibe verändert. Begrenzt man die verschiedenen Sectoren nicht durch gerade, sondern durch krumme oder gebrochene Linien, so kann man leicht sehr mannigfache und bunte Wechsel von Ringsystemen erzeugen.

[1] MUSCHENBROEK, Introductio. § 1820. 1760.

Um den Kreiseln gröſsere Geschwindigkeit zu geben, müssen sie durch ein um ihren Stiel geschlungenes Band, welches man abzieht, in Bewegung gesetzt werden. Die einfachste Einrichtung dazu ist die in *Fig. 183* abgebildete. Es dient dazu ein hölzerner




*Fig. 183.*

Hohlcylinder *c*, der an einem Stiele *d* sitzt, bei *b* und *e* zwei einander gegenüberstehende Durchbohrungen seiner Mantelfläche hat und von beiden, um einen rechten Winkel entfernt, einen Einschnitt. Man steckt den Stiel *b* des Kreisels durch die Offnungen des Cylinders, führt das Ende eines starken Fadens durch eine Durchbohrung des Stiels und dreht mit dem Finger den Kreisel, bis der Faden aufgewickelt ist. Der Theil des Stiels, um den der Faden aufgewickelt ist, wird dadurch so dick, daſs er nicht mehr aus der Hülse *c* hinausgleiten kann. Hält man nun den Kreisel mittelst der Hülse nahe über einem Tische, zieht den Faden kräftig ab, so kommt der Kreisel in schnelle Rotation und fällt, sobald der Faden abgewickelt ist, auf den Tisch herab, wo er lange weiter
*348* läuft. Der in *Fig. 184* nach seiner Zusammensetzung abgebildete Kreisel ist so eingerichtet, daſs man die Scheiben mittelst des Stiels fest klemmen kann, wie dies bei den Versuchen von MAXWELL zur Bestätigung des NEWTONschen Gesetzes der Farbenmischung nöthig ist. Man braucht dazu eine Reihe kleinerer und gröſserer runder Scheiben aus steifem Papier mit einer centralen Öffnung und einem radialen Schlitz, wie *Fig. 185* zeigt. Jede Scheibe wird nur mit einer Farbe gleichmäſsig überzogen; legt man zwei oder mehrere auf einander und schiebt sie gegenseitig durch

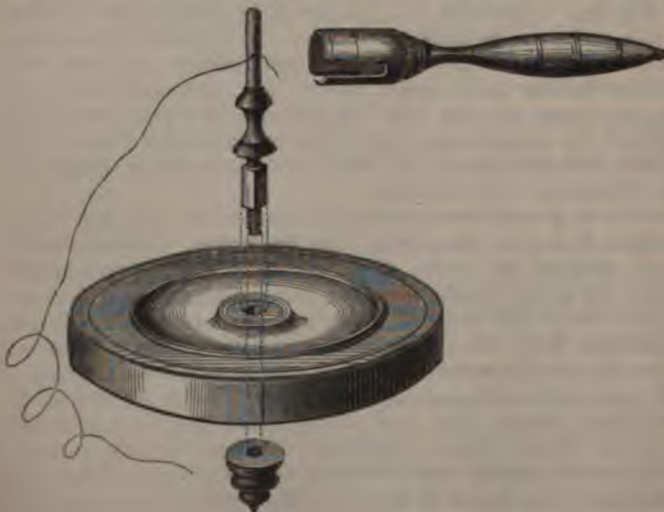


*Fig. 184.*

ihre Schlitze hindurch, so werden auf jeder Seite Sectoren der einzelnen Scheiben von beliebig veränderlicher Breite sichtbar, so daſs das Mischungsverhältniſs der Farben continuirlich geändert werden kann.

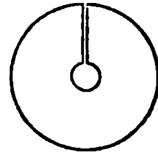


*Fig. 185.*

Die vollkommenste Construction für einen Kreisel, der nur bei sehr schneller Bewegung gebraucht werden soll, bietet der Busoldsche Farbenkreisel dar (*Fig. 186*). Er besteht aus einer fünf Pfund schweren Scheibe, die aus einer Legirung von Zink und Blei gegossen ist, ein Decimeter im Durchmesser. Die Axe von Messing läuft unten auf einer fein abgerundeten Spitze von nicht gehärtetem Stahl. Der cylindrische Theil der Axe ist rauh gemacht, damit die Schnur fest darauf liegen kann. Will man den Kreisel in Bewegung setzen, so wird seine Axe nach Umwickelung mit der Schnur in die Einschnitte der eisernen Arme *d d* eingelegt, ein Teller untergestellt und mit der rechten Hand die Schnur kräftig abgezogen, während die linke sich gegen den Hebel *e* stützt. Der Kreisel muſs vor dem Abziehen möglichst nah am Rande des Tellers stehen, die Schnur einen halben Fuſs kürzer sein, als die ausgespannten Arme messen, und an ihrem Ende mit einer Handhabe versehen sein. Wenn der Kreisel läuft, zieht man den Teller mit dem Kreisel unter den Armen des Hebels *e* hervor. Dieser, welcher um eine Axe bei *c* drehbar ist, hebt sich dabei nach oben. Bei kräftigem Abziehen der Schnur kann man bis 60 Umdrehungen in der Secunde hervorbringen, und die Bewegung hält 45 Minuten an.




*Fig. 186.*

Auſser den Kreiseln hat man nun auch vielfältig Scheiben benutzt, deren Axe in zwei Zapfenlagern läuft, und die entweder durch ein Uhrwerk, oder eine unendliche 349
Schnur, oder durch Abziehen einer Schnur wie die Kreisel in Bewegung gesetzt werden.

Eine für messende Versuche bestimmte wesentliche Verbesserung ist ein von Lummer und Brodhun neuerdings construirter Rotationsapparat, auf welchem zwei ausgeschnittene Scheiben laufen, deren Stellung zu einander während der Rotation allmälig geändert werden kann. Die Beschreibung wird in den photometrischen Berichten der Deutschen phys. techn. Reichsanstalt gegeben werden.

Im Allgemeinen tritt bei diesen Apparaten die Unbequemlichkeit ein, daſs man die Scheiben nicht wechseln kann, ohne den Apparat anzuhalten und die Scheibe aus ihren Axenlagern zu entfernen. Andererseits hat man den Vortheil, die Scheibe in verticaler Stellung umlaufen lassen zu können, wobei ein groſses Auditorium sie gleichzeitig sehen kann, was bei den Kreiseln nicht so leicht zu erreichen ist. Mischung der Farben hat Montigny auch durch ein rotirendes Prisma erreicht, dessen objectives Spectrum er über einen weiſsen Schirm laufen lieſs.

Das Thaumatrop ist ein rechteckiges Täfelchen, welches man um eine Axe, die durch die Mitte der längeren Seiten geht, rotiren läſst. Auf die eine Seite ist etwa ein Vogel gemalt, auf die andere der Käfig. Wenn man schnell rotiren läſst, scheint der Vogel im Käfig zu sitzen. Es ist jetzt als Kinderspielzeug bekannt, erfunden von Dr. Paris.[1]

[1] Paris, *Edinb. Journal of Science*. VII. 87. *Pogg. Ann.* X. 480. 1827.

Es schliefsen sich hier die zusammengesetzteren Apparate an, welche rotirende Bilder durch gleichzeitig rotirende Spalten sehen lassen. Dazu gehören zunächst die stroboskopischen Scheiben von STAMPFER, welche gleichzeitig und unabhängig von PLATEAU erfunden und mit dem Namen des Phänakistoskops belegt wurden.[1]

Die stroboskopischen Scheiben sind Papierscheiben von 6 bis 10 Zoll Durchmesser (*Fig. 187*), auf denen sich, im Kreise gestellt und in gleichen Entfernungen von einander, eine Anzahl (8 bis 12) von Figuren befindet, welche eine Reihe von Momenten irgend einer periodisch wiederkehrenden Bewegung darstellen. Eine solche Scheibe wird concentrisch auf eine zweite etwas gröfsere dunkle Scheibe gelegt, die am Rande ebenso viel Offnungen hat, als die erstere Figuren, und beide zusammen mittelst einer Schraubenmutter auf das vordere Ende einer kleinen eisernen Axe befestigt, die im oberen Ende eines passenden Handgriffs angebracht ist. Beim Gebrauche des Instruments stellt man sich vor einen Spiegel, wendet die Scheibe mit den Figuren gegen diesen, stellt das Auge so, dafs man durch eines der Löcher am Rande der gröfseren Scheibe das Spiegelbild der Figuren sieht, und setzt nun die Scheiben in Rotation. Dann scheinen die Figuren, die man im Spiegel sieht, die Bewegung auszuführen, deren Acte dargestellt sind, ohne sich dabei von der Stelle zu bewegen.

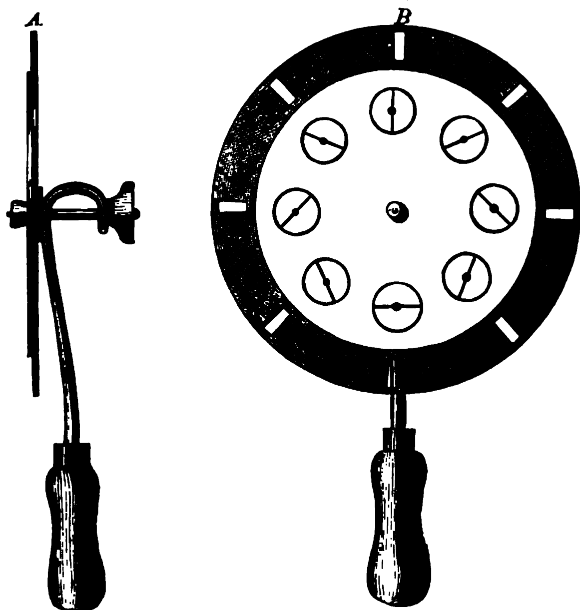


*Fig. 187.*

Bezeichnen wir diese Öffnungen mit Ziffern, und nehmen wir an, dafs das Auge zuerst durch die Öffnung 1 sehe, dann, wenn die Scheibe weiter rotirt, durch die Öffnung 2 u. s. w., und bezeichnen wir ferner die Figuren, die auf den zu Öffnung 1, 2, 3 u. s. w. gehenden Radien
350 stehen, mit denselben Ziffern, so wird zunächst der Beobachter, indem er durch die Öffnung 1 nach dem Spiegel sieht, auf dem Radius, der im Spiegelbilde der Scheibe nach dem Spiegelbilde seines Auges hinweist, die Figur 1 erblicken. Wenn er nun die Scheibe dreht, so geht die Öffnung 1 vor seinem Auge vorbei, das Spiegelbild wird ihm zunächst durch die dunkle Pappscheibe ganz verdeckt, und erst wenn die Öffnung 2 vor seinem Auge ankommt, erblickt er es wieder. Nun steht aber die Figur 2 an demselben Orte, wo sich vorher Figur 1 befand, nämlich auf dem Radius, der vom Mittelpunct der Scheibe nach dem Auge des Beobachters geht. Es folgt wieder Dunkelheit, bis Öffnung 3 vor das Auge tritt und nun Figur 3 an demselben Platze erscheint, wo vorher 1 und 2 sich befanden. Wären nun diese Figuren alle einander gleich, so würde der Beobachter eine Reihe von einander getrennter, unter sich aber gleicher Gesichtseindrücke erhalten, welche bei hinreichend schneller Wiederholung in eine andauernde Empfindung ver-

[1] PLATEAU schickte schon im November 1832 durch QUETELET ein Exemplar an FARADAY; STAMPFER verfertigte die erste im December 1832. PLATEAU beschrieb seine Erfindung in einem vom 20. Januar 1833 datirten Schreiben in der *Correspondance math. et physique de l'observat. de Bruxelles* VII. 365. STAMPFER in einer besonderen Schrift: „Die stroboskopischen Scheiben oder optischen Zauberscheiben, deren Theorie und wissenschaftliche Anwendung", deren Vorrede von Juli 1833 datirt ist.

schmelzen, die einem ruhenden Objecte entspricht. Wenn die Figuren dagegen von einander ein wenig verschieden sind, so verschmelzen die getrennten Lichteindrücke auch zu dem Bilde eines Gegenstandes, aber dieser verändert sich scheinbar fortdauernd, so wie es die Reihenfolge der Bilder mit sich bringt.

Wenn die Zahl der Figuren nicht gleich der der Löcher ist, so erscheinen die Figuren in vor- oder rückschreitender Bewegung. Denken wir uns $n$ Löcher und $m$ Figuren, die Zahlen $m$ und $n$ aber nur wenig verschieden, und zu Anfang eine der Figuren auf dem Radius stehend, der nach dem Auge des Beobachters, welches durch eine Öffnung schaut, hinweist. Wird die Scheibe um den Bogen $\frac{2\pi}{n}$ gedreht, so tritt wieder eine Öffnung vor das Auge des Beobachters. Die zweite Figur ist dann aber um einen Bogen $\left(\frac{2\pi}{n} - \frac{2\pi}{m}\right)$ von dem genannten Radius entfernt. Ist dieser Bogen nun klein genug, so daſs die zweite Figur sich jetzt näher an dem erstgesehenen Orte der ersten Figur befindet, als jede andere jetzt sichtbare Figur, so identificiren wir die jetzt gesehene zweite mit der früher gesehenen ersten Figur und glauben, die letztere um das entsprechende Bogenstück fortbewegt zu sehen. Gewöhnlich macht man $m$ gleich $n - 1$ oder gleich $n + 1$. Im ersteren Falle schreiten die Figuren in dem Sinne fort, wie die Scheibe sich dreht, im zweiten Falle entgegengesetzt.

Je schmaler man die Öffnungen der gröſseren Scheibe macht, desto schärfer begrenzt werden die Bilder gesehen, aber desto lichtschwächer werden sie auch. Um die Bilder objectiv an die Wand zu werfen, hat Uchatius[1] einen Apparat construirt. Sehr nützlich verwendet sind sie von J. Müller[2], um die Vorgänge der Wellenbewegung zu versinnlichen.

Fig. 188.

[illegible]

Das Dädaleum von W. G. Horner ist ein ähnliches Instrument, nur sind die Löcher auf dem Mantel eines hohlen Cylinders angebracht, und die Bilder theils auf der Innenfläche des Mantels (am besten transparent), theils auf der Grundfläche.

Eine jetzt viel gebrauchte Form dieses Instruments ist die in *Fig. 188* dargestellte. Die Bilder werden auf langen Papierstreifen angeordnet, die man in den Hohlcylinder hineinlegt, so daſs sie sich dem unteren Theile seiner inneren Wand anlegen und bei der Rotation durch die Centrifugalkraft fest angedrückt werden. Man setzt die Trommel in Bewegung und betrachtet die Bilder durch eine der Seitenöffnungen. Durch eine Öffnung der mittleren Reihe angesehen scheinen sie gewöhnlich auf ihrer Stelle zu bleiben, durch eine Öffnung der oberen oder unteren Reihe gesehen aber vorwärts oder rückwärts fortzuschreiten. Ausgezeichnet vollendete Bilder sind durch Momentphotographien von dem Amerikaner Herrn Muybridge und von Herrn O. Anschütz in Deutschland erzeugt worden, die natürliche Bewegungen von Menschen und Thieren in auſserordentlicher Treue wiedergeben. Die Figuren *189* zeigen eine solche Reihe von dem letzteren entworfen. Diese Bilder sind auch für das Studium der thierischen Bewegungen wichtig.

[1] Uchatius, [illegible] X. 482. [illegible]
[2] J. Müller, *Pogg. Ann.* LXVII. 271. 1846.



*Figuren 189.*

350 Bei den bisher beschriebenen Apparaten rotiren die Figuren und die Öffnungen mit derselben Winkelgeschwindigkeit; eine andere Reihe von Erscheinungen zeigt sich, wenn sie mit verschiedener Winkelgeschwindigkeit rotiren.

Einer der einfachsten Apparate dieser Art ist der in *Fig. 190* dargestellte Kreisel von J. B. Dancer in Manchester, wenn man auf dem Vorsprung der Axe noch eine zweite Scheibe ruhen läfst, in welcher Öffnungen verschiedener Gestalt angebracht
351 sind, und an deren Rand ein Stück Faden angeknüpft ist, wie es *Fig. 190* darstellt. Diese obere Scheibe rotirt langsamer als der Kreisel wegen des Luftwiderstandes an dem mit ihr herumfliegenden Faden, während sie durch die Reibung an der Axe des Kreisels mitgenommen wird. Enthält die untere Scheibe mehrere verschiedengefärbte Sectoren, so sieht man die in die obere Scheibe eingeschnittenen Figuren vervielfältigt und in den verschiedenen Farben der unteren Scheibe ausgeführt, ein sehr buntes Bild, was bald continuirlich, bald springend sich zu bewegen scheint.

Betrachten wir eine einzelne Öffnung der oberen Scheibe und rechnen die Drehungswinkel von der Stelle ab, wo sie sich zu Anfang der betrachteten Zeit befindet. Ein in der verlängerten Axe des Kreisels befindliches Auge wird durch die Öffnung eine der Farben der unteren Scheibe erblicken, und diese Stelle gelte auf der unteren Scheibe als Nullpunct für die Messung der Winkel. Die obere Scheibe laufe $m$ Male, die untere $n$ Male in der Secunde um, beide in gleicher Richtung: so ist der Bogen, um den sich jeder Punct der oberen Scheibe in der Zeit $t$ fortbewegt gleich $2\pi m t$, und für die Puncte der unteren Scheibe, ist derselbe gleich $2\pi n t$. Von zwei Punkten der oberen und unteren Scheiben die anfangs über einander standen, ist also nach der Zeit $t$ der untere um den Bogen $2\pi (n-m) t$ voraus, und daraus folgt, dafs durch die Öffnung der oberen Scheibe zur Zeit $t$ ein Theil der unteren Scheibe gesehen wird, der um den Bogen $2\pi (m-n) t$ auf dieser von dem anfangs gesehenen Puncte entfernt ist, wobei positive Bogen im Sinne der Drehung, negative rückwärts zu rechnen sind. Wenn also $t = \frac{1}{n-m}$ geworden ist, werden sämmtliche Farben der unteren Scheibe einmal in der Öffnung der oberen erschienen sein, und ihre Reihe wird wieder vom Anfang beginnen, und sich wiederholen. Während dieser Zeit ist aber die Öffnung selbst um den Bogen $2\pi m t = 2\pi \frac{m}{n-m}$ fortgerückt, und die Reihe der Farben, wie sie sich in der Öffnung folgten, mufs über diesen Bogen ausgebreitet erscheinen, und zwar in umgekehrter Ordnung, als sie auf der Scheibe stehen, wenn, wie in dem beschriebenen Apparate der Fall ist, $n > m$. Dieselbe Reihe von Farben folgt nun wieder, während die Öffnung sich über einen zweiten, dritten u. s. w. Bogen von der Länge $2\pi \frac{m}{n-m}$ fortbewegt. Ist nun

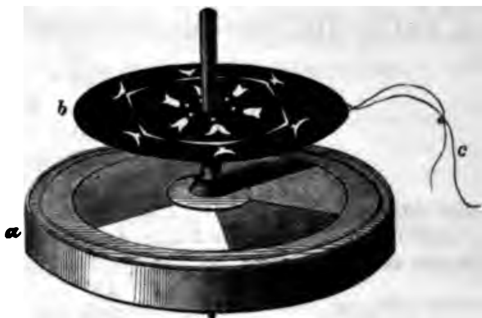


Fig. 190.

$$\frac{m}{n-m} = \frac{1}{p}, \quad \text{also } n = (p+1) m$$

und $p$ eine ganze Zahl, so wird sich nach einem ganzen Umlauf der oberen Scheibe die Farbenreihe in der Öffnung gerade $p$ Male wiederholt haben und bei jedem folgenden Umlauf, wie beim ersten, genau an derselben Stelle wieder erscheinen. Es erscheint dann auf der oberen Scheibe ein ruhender farbiger Ring mit $p$maliger Wiederholung der Farben der unteren Scheibe. Ist $p$ nicht genau gleich einer ganzen Zahl, so werden die Orte der Farben beim zweiten Umlaufe nicht mehr ganz genau mit denen des ersten Umlaufs zusammenfallen, der Farbenring wird sich fortzubewegen scheinen.

Wenn $$\frac{m}{n-m} = \frac{2}{2p+1}, \quad \text{also } n = \left(p + \frac{3}{2}\right) m$$

und $p$ eine ganze Zahl ist, so werden beim zweiten Umlaufe die Farben neue Orte einnehmen, beim dritten aber dieselben wie beim ersten, beim vierten wie beim zweiten, so dafs doch eine ruhende Farbenerscheinung entstehen kann, wenn nur der Kreisel schnell genug läuft, dafs der Eindruck auf das Auge die Zeit zweier Umläufe der Öffnung überdauert. Man erhält dann eine $(2p+1)$malige Wiederholung der gleichen Farbenfolge, diese selbst ist aber nicht mehr gleich der Folge der Farben der unteren Scheibe, sondern

stellt die Mischungen je zweier Farben dieser Scheibe dar, welche auf den entg gesetzten Hälften derselben Durchmesser liegen. Wenn z. B. $p = 1$, also $\frac{m}{n-m} =$ so wird die Anfangsfarbe wiedererscheinen bei

352 0°
240
480 d. h. 120°
720 „ 0
960 „ 240
u. s. w.,

also immer wieder bei 0°, 120°, 240°. Die Farbe dagegen, welche auf der ur Scheibe auf der anderen Hälfte desselben Durchmessers steht, wird in der Mitte Bogen erscheinen, also bei

120°
360 d. h. bei 0°
600 „ 240
u. s. w.,

d. h. an denselben drei Stellen, wird sich also mit der ersten Farbe mischen.

Im Allgemeinen ergiebt sich leicht, dafs, wenn der Bruch $\frac{m}{n-m}$ in kleinsten g Zahlen ausgedrückt, gleich $\frac{q}{p}$ ist, und der Eindruck im Auge $q$ Umdrehungen der o Scheibe überdauert, man $p$ Wiederholungen einer Folge von Farben sieht, die stehen, indem je $q$ äquidistante Farben der unteren Scheibe gemischt werden. D der Eindruck im Auge aber nicht so lange, so erscheinen die Farben hin- und springend.

Wenn man die Form, Zahl und Gröfse der Öffnungen in der oberen Scheibe v entstehen auf diese Weise natürlich sehr bunte kaleidoskopische Bilder. Diese werden bei dem Kreisel der *Fig. 190* noch bunter und erhalten sehr feine nungen dadurch, dafs eigenthümliche Oscillationen der oberen Scheibe eintreten. hört nämlich ein lautes Schnarren des Kreisels, sobald man die obere Scheibe auf hat, und wenn man als untere Scheibe eine rein weifse gewählt hat: so sieht ma Figur der oberen Scheibe nicht sich in ein System concentrischer Kreislinien verwa wie es sein müfste, wenn die obere Scheibe mit gleichmäfsiger Geschwindigkeit r sondern man sieht eine grofse Zahl von Wiederholungen der eingeschnittenen I Dies läfst schliefsen, dafs die Rotationsbewegung der oberen Scheibe in regelmä Abwechselung verzögert und beschleunigt ist. Diese Oscillationen müssen durc Reibung der oberen Scheibe an der Axe hervorgebracht sein. Aufserdem finde zweites System von Oscillationen statt, wobei der Mittelpunct der oberen Scheibe zontal hin- und hergeht, was man aus gewissen Eigenthümlichkeiten der Figur, wi über weifser Unterlage erscheint, erkennen kann.

Regelmäfsiger zeigt das von PLATEAU construirte Anorthoskop diese Erscheinu Zwei kleine Rollen von verschiedenem Durchmesser, deren Axen in derselben ge Linie unmittelbar hinter einander liegen, werden durch zwei unendliche Schnüre he getrieben, welche beide um die Peripherie derselben gröfseren Scheibe laufen; let wird mittels einer Kurbel bewegt. An der einen Rolle ist eine transparente Scheib festigt, auf der sich eine verzerrte Zeichnung befindet, an der anderen eine schv Scheibe mit einem oder mehreren Spalten. Wenn man die Scheiben rotiren läfst, k die richtige Zeichnung zum Vorschein.

Wir haben gesehen, dafs, wenn $m$ die Zahl der Umläufe des Schirmes in der Sec bezeichnet, und $n$ die der Zeichnung, dafs auf einem Bogen $2\pi \cdot \frac{m}{n-m}$, den ein Punc spaltförmigen Öffnung des Schirmes durchläuft, alle die Puncte der Zeichnung der I

nach erscheinen, die ebenso weit wie jener Punct vom Mittelpuncte entfernt sind. In dem Zerrbilde des Objects auf der transparenten Scheibe nehmen aber diese Puncte die ganze Peripherie ein. Denkt man sich also in dem Original und seinem Zerrbilde die Puncte durch Polarcoordinaten gegeben, nämlich durch ihre Entfernung vom Mittelpuncte der Scheibe $\varrho$ und durch den Winkel $\omega$, den der Radius Vector mit einem festen Radius bildet, und nennen wir $\varrho_0$ und $\omega_0$ die Werthe für die richtige Zeichnung, $\varrho_1$ und $\omega_1$ für die verzerrte, so ist.

$$\varrho_0 = \varrho_1$$ 353
$$\omega_0 : \omega_1 = m : (m-n .$$

Mit Hülfe dieser Gleichungen kann die verzerrte Zeichnung construirt werden, indem man die Winkel $\omega$ in dem angegebenen Verhältnisse verändert. Damit bei jedem Umlauf der Scheiben dieselben Figuren wieder sichtbar werden, mufs wie früher der Bogen $2\pi\frac{m}{m-n}$ ein aliquoter Theil der Peripherie sein, also $\frac{m}{m-n}$ eine positive oder negative ganze Zahl.

Sind die Scheiben beide gleichläufig, also $m$ und $n$ positiv, $n > m$, so haben $\omega_0$ und $\omega_1$ entgegengesetztes Zeichen, müssen also nach entgegengesetzter Richtung gelegt werden. Es wird $\frac{m-n}{m} = 1 - \frac{n}{m}$ eine negative ganze Zahl, wenn $\frac{n}{m}$ eine ganze Zahl $p$ ist, d. h. die transparente Scheibe $p$ ganze Umläufe macht, während die dunkle Scheibe einen macht. Das Bild wiederholt sich $(p-1)$ Male auf dem Umfang der Scheibe. Man kann in diesem Falle $p$ äquidistante radiale Spalten in der schwarzen Scheibe anbringen.

Wenn die beiden Scheiben in entgegengesetzter Richtung umlaufen, also $m = -\mu$ ist, so wird

$$\omega_0 : \omega_1 = \mu : (n + \mu).$$

Die beiden Winkel sind also nach der gleichen Seite hin zu nehmen. Wenn $\frac{n}{\mu} = p$ und $p$ eine ganze Zahl, so wird die Zahl der Bilder gleich $p + 1$, und man kann wieder $p$ Spalten in der dunklen Scheibe anbringen.

Wenn endlich die Rotationen gleichläufig sind, $m$ und $n$ also positiv, aber $m > n$, so bekommen $\omega_0$ und $\omega_1$ wieder dasselbe Zeichen, aber während in den bisherigen Fällen $\omega_1$ gleich oder gröfser als $\omega_0$ war, wird es nun kleiner. In den bisher beschriebenen Fällen konnte das Zerrbild die ganze Peripherie des Kreises einnehmen, jedes einzelne richtige Bild nahm dann nur einen aliquoten Theil der Peripherie ein. In dem jetzigen Falle aber ist der höchste Werth von $\omega_0$ offenbar $2\pi$, und demgemäfs der höchste von $\omega_1 = \left(1 - \frac{n}{m}\right) 2\pi$. Es kann das Zerrbild deshalb auch auf der transparenten Scheibe mehrmals wiederholt werden, ja es wird vortheilhaft sein, es zu wiederholen, um mehr Licht zu erhalten. Damit dann immer dieselbe Erscheinung wiederkehre, mufs der bezeichnete Maximalwerth von $\omega_1$ ein aliquoter Theil der Peripherie sein, d. h. $\frac{m}{m-n}$ mufs eine ganze Zahl $p$ sein, also

$$\frac{n}{m} = \frac{p-1}{p}.$$

Dabei ist die Anzahl der möglichen Wiederholungen des Zerrbildes $p$, das richtige Bild einfach. Die Zahl der Spalten kann gleich $p - 1$ gemacht werden.

Man kann aber auch in diesem Falle die Spalte einfach lassen, und das Zerrbild in seinen Wiederholungen etwas verändern, so dafs es verschiedene Momente einer Bewegung darstellt, dann erhält man ein richtiges Bild, was diese Bewegung auszuführen scheint

Sollen die geforderten Verhältnisse der Umdrehungszahlen $m$ und $n$ genau eingehalten werden, so kann man dies nur erreichen, wenn man die Axen durch Zahnräder in Bewegung setzt. Bei den Rollen stimmen die Verhältnisse der Durchmesser und die Beschaffenheit der Fäden nie so genau überein, dafs nicht allmälig kleine Abweichungen von dem geforderten Verhältnisse eintreten, und dann drehen sich die restaurirten Bilder auf der Scheibe allmälig um deren Mittelpunkt. Diese unvermeidliche Ungenauigkeit der Schnurläufe hat PLATEAU übrigens benutzt, um einen sehr allmäligen Farbenwandel hervorzubringen, indem er zwei Rollen aufsetzt, welche, so gut es geht, einander gleich gemacht sind an der einen eine transparente Scheibe mit gleich breiten farbigen Sectoren befestigt, an der anderen eine schwarze Scheibe, in der ein oder zwei gleiche Sectoren ausgeschnitten sind. Wenn die Oeffnung anfangs gerade vor einem der farbigen Sectoren der hinteren Scheibe steht, wird bei der Rotation das ganze Feld in dieser
354 Farbe erscheinen, allmälig aber werden sich die Scheiben gegen einander verschieben, es wird von einem anderen Sector der farbigen Scheibe anfangs wenig, allmälig immer mehr frei werden, und dessen Farbe daher sich stärker und stärker einmischen, während die des ersten in demselben Verhältnisse verschwindet. So erhält man einen sehr leise und allmälig eintretenden Farbenwandel.

Es gehören hierher auch noch gewisse Curven, welche erscheinen, wenn zwei Reihen von geraden oder gekrümmten Stäben sich hinter einander bewegen. Das erste Beispiel davon, welches Aufsehen erregte, waren gewisse Figuren, welche an den Rädern eines Wagens erscheinen, wenn ein solcher hinter einem Gitter vorbeifährt.[1] Am einfachsten von den hierher gehörigen Fällen ist die von FARADAY beobachtete Erscheinung. Er liefs zwei gleiche Zahnräder hinter einander in entgegengesetzter Richtung schnell rotiren, so dafs ihre Axen in einer geraden Linie lagen. Während nun von jedem, einzeln gesehen, die Zähne wegen der Schnelligkeit der Bewegung verschwinden, sah er ein Rad mit doppelt so viel Zähnen stillstehen, wenn er sie so betrachtete, dafs die eine Zahnreihe durch die andere hin erschien. Denken wir uns die Zähne hell auf dunklem Grunde, so wird durch die schnell umlaufenden hellen Zähne jedes einzelnen Rades eine gewisse Menge Licht über den Grund scheinbar gleichmäfsig ausgebreitet, und durch beide Zahnreihen zusammen die doppelte Menge Licht an solchen Stellen des Grundes, wo hinter einander bald von der einen, bald von der anderen Reihe ein Zahn hinüberläuft. Wo aber ein Zahn der vorderen Reihe einen solchen der hinteren deckt, wird für den Augenblick das Licht des hinteren hinweggenommen, weil es nicht zum Auge des Beobachters kommen kann, und eine solche Stelle scheint dem Beobachter deswegen nur halb so stark beleuchtet, als die benachbarten, wo die beiden Zähne ungestört nach einander ihr Licht in das Auge senden. Somit erscheinen in dem hellen Scheine, den die Zahnreihen geben, diejenigen Stellen dunkler, wo bei der Bewegung der Räder je zwei Zähne zur Deckung kommen. Ist nun $\omega$ der Winkelabstand der Zähne, und gehen wir von einer Stellung der Räder aus, wo die Zähne sich decken, so wird eine zweite Deckung zu Stande kommen, wenn das eine Rad sich um $\frac{1}{2}\omega$ nach rechts, das andere um ebenso viel nach links gedreht hat. Die dunklen Streifen werden also nur den Winkelabstand $\frac{1}{2}\omega$ haben, und ihre Anzahl wird daher doppelt so grofs sein, als die der Zähne. Das eine Rad kann man auch weglassen, wie BILLET SÉLIS bemerkt, wenn man hinter das erste einen Hohlspiegel stellt, der ein mit dem Objecte zusammenfallendes, aber verkehrtes Bild dieses Rades entwirft. Sehr hübsch läfst sich auch diese Methode anwenden, um die Art, wie sich ein Wasserstrahl in Tropfen auflöst, sichtbar zu machen.

Eine ähnliche Erscheinung beobachtete EMSMANN an dem bekannten Abplattungsmodell, welches aus zwei elastischen Messingringen besteht, die zwei gegen einander

[1] ROGET in *Phil. Transact.* 1825. I. 131. *Pogg. Ann.* V. 93. PLATEAU ebenda XX. 316. 1829. FARADAY ebenda XXII. 601. 1831. EMSMANN ebenda LXIX. 326.

senkrechten Meridiankreisen der Erde entsprechen und um die der Erdaxe entsprechende Linie schnell gedreht werden, wobei sie durch die Centrifugalkraft eine elliptische Gestalt annehmen. Da sie das Licht stark reflectiren, verbreiten sie bei schneller Rotation einen Lichtschein über die Kugelfläche, die sie beschreiben, und darin erscheinen dunkle Linien an den Stellen, wo bei der Rotation ein vorderes Bogenstück ein hinteres bedeckt. Das allgemeine Princip dieser Erscheinungen hat PLATEAU ausgesprochen. Wenn zwei erleuchtete Curven sich durch das Gesichtsfeld so schnell bewegen, dafs sie eine scheinbar continuirliche Beleuchtung der Fläche zurücklassen, so erscheint eine dunkle Linie in diesem lichten Felde, welche die Punkte verbindet, in denen sich nach einander die Curven geschnitten haben, vorausgesetzt, dafs das Licht der einen Curve die andere nicht durchdringen kann.

Zur Geschichte: Die Dauer des Lichteindrucks wurde von NEWTON[1] gleich einer Secunde geschätzt, später genauer gemessen von SEGNER,[2] der 30 Tertien, D'ARCY,[3] der 8 Tertien, CAVALLO,[4] der 6 Tertien als längste Dauer des Eindrucks einer im Kreise geschwungenen glühenden Kohle fand. PARROT[5] fand, dafs der Eindruck in einem hellen Zimmer kürzere Zeit währe, als in einem dunkeln. Daran schliefsen sich dann die späteren Messungen von PLATEAU[6] über die verschiedene Dauer der Eindrücke verschiedener Farben, und EMSMANN.[7] 355

Farbenkreisel erwähnt MUSSCHENBROEK,[8] ohne einen älteren Beobachter zu nennen. Besondere Formen sind beschrieben durch E. G. FISCHER,[9] LÜDICKE,[10] BUSOLT.[11]

Die fast gleichzeitige Erfindung der stroboskopischen Scheiben durch PLATEAU und STAMPFER zu Ende des Jahres 1832 ist schon oben erwähnt. Die Construction des Anorthoskops durch PLATEAU[12] fällt in den Januar 1836 Letzterer hat auch die Theorie der hierher gehörigen Erscheinungen vielfältig und ausführlich bearbeitet.

## § 23. Die Veränderungen der Reizbarkeit.

Wir haben gesehen, dafs nach der Einwirkung von Licht auf die Netzhaut der Zustand von Reizung im Sehnervenapparate noch eine Zeit lang anhält. Diese Nachdauer des Eindrucks nimmt man nach der Betrachtung heller Gegenstände am ungestörtesten wahr, wenn man das Auge auf ein ganz dunkles Gesichtsfeld richtet. Aufserdem zeigt sich aber, dafs nach Einwirkung hellen Lichts auf irgend eine Stelle der Netzhaut diese nun auch neu von aufsen einfallendes Licht in einer anderen Weise empfindet, als es die vorher nicht afficirten Theile der Netzhaut thun. Wir haben es also hier auch mit einer durch Einwirkung des Lichtes veränderten Empfänglichkeit des Sehnervenapparates gegen neue äufsere Reize zu thun. 356 357

Wir wollen im vorliegenden Paragraphen hauptsächlich aufsuchen, welche Empfindungen entstehen, wenn die von vorausgegangenem hellen Lichte affi-

---

[1] NEWTON, *Optice.* Quaestio XVI.
[2] SEGNER, De raritate luminis Gott. 1740
[3] D'ARCY, *Mem. de Paris.* 1765. p. 450.
[4] CAVALLO, Naturlehre, übers. von TROMMSDORF III. 152.
[5] PARROT, *Entretiens sur la Physique* Dorpat 1819 24 III 235
[6] PLATEAU, Pogg. Ann. XX. 304—324. 1829.
[7] EMSMANN, Pogg. Ann. XCI. 611. 1854.
[8] MUSSCHENBROEK, Introd. ad philos. natur. § 1820. 1762
[9] E. G. FISCHER, Lehrbuch der mechanischen Naturl. Berlin 1827 II. 267
[10] LÜDICKE, Gilbert's Ann. V. 272 1800 und XXXIV. 42. 1810
[11] BUSOLT, Pogg. Ann. XXXII. 656. 1833.
[12] PLATEAU, *Bull. de Brux.* 1836 III. 7 Derselbe in Pogg. Ann XX 319 -543 1829. XXXII 1833. XXXVII. 464. 1836. LXXVII. 563 LXXIX. 269 1849 LXXX 150. 287 1849

cirte Parthie der Netzhaut von anderem äufseren Lichte getroffen wird. Ich bemerke jedoch gleich, dafs auch ein Theil der Erscheinungen hierhergezogen werden mufs, welche im scheinbar dunkeln Gesichtsfelde erscheinen, weil es nämlich in Wirklichkeit kein absolut dunkles Gesichtsfeld giebt, vielmehr auch bei vollständigem Ausschlufs alles äufseren Lichtes doch immer noch eine gewisse schwache Reizung der Netzhaut durch innere Einflüsse bestehen bleibt, welche das schon im § 17 erwähnte Lichtchaos oder Eigenlicht des dunkeln Gesichtsfeldes hervorbringt. Die Reizempfänglichkeit der Netzhaut erscheint nun gegen diese inneren Reize in derselben Weise abgeändert, wie gegen objectives Licht, und es gehören deshalb zu unserem gegenwärtigen Gegenstande auch Erscheinungen, die im dunkeln Gesichtsfelde eintreten, nachdem der Zustand der Reizung der Netzhaut ganz aufgehört hat. Ich bemerke hierbei noch, dafs in hellen Räumen der Schlufs der Augenlider allein nicht hinreicht, das Gesichtsfeld von allem objectiven Lichte frei zu machen, wie man leicht an der weiteren Verdunkelung merkt, welche eintritt, wenn man die Augen nun zukneift, oder die Hand davor legt. Ja in directer Sonnenbeleuchtung reicht es noch nicht einmal hin, nur die Hand vorzulegen, weil auch durch diese noch eine wahrnehmbare Quantität rothen Lichtes hindurchdringt. Wenn also im Folgenden von einem ganz dunkeln Gesichtsfelde die Rede ist, so ist darunter immer nur zu verstehen das Gesichtsfeld, wie es in einem absolut dunkeln, von allen Spuren objectiven Lichts geschützten Zimmer sich findet, oder wie es in einem hellen Zimmer entsteht, wenn man die Augen schliefst, und jedes Auge dicht, aber ohne Druck mit einer Handfläche oder einem dunkeln undurchsichtigen Tuche bedeckt.

Ich werde ferner im Folgenden dasjenige Licht, welches zuerst auf die Netzhaut eingewirkt und deren Reizempfänglichkeit verändert hat, das primäre Licht nennen, das später auf die veränderte Netzhautstelle einwirkende dagegen das reagirende Licht, weil es für uns gleichsam ein Reagenz ist, durch welches wir die Reizbarkeit der Netzhaut prüfen.

Die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen dieses Gebietes ist nun sehr grofs, und obgleich eine ziemliche Anzahl ausgezeichneter Beobachter daran gearbeitet hat, ist es noch in vielen Theilen unsicher und lückenhaft. Die Schwierigkeit liegt darin, dafs zuerst jeder Beobachter, der sich daran macht, eine gewisse Zeit braucht um sich genügend zu üben, die hierher gehörigen Erscheinungen sicher aufzufassen und zu beurtheilen, und dabei meistens diese Versuche schnell die Augen so angreifen, dafs bei einzelnen Beobachtern, die sie zu lange fortgesetzt haben, schwere und gefährliche Augen- und Nervenkrankheiten eingetreten sind. Es haben deshalb die meisten Beobachter bisher nur eine verhältnifsmäfsig geringe Menge von Thatsachen selbst bestätigen und neu entdecken können, und auch jedem künftigen Beobachter,
358 welcher dergleichen Versuche machen will, ist anzurathen an jedem einzelnen Tage nur sehr wenige Versuche dieser Art zu machen, und die Versuchsreihen für längere Zeit abzubrechen, sobald er bemerkt, dafs nach den Ver-

suchen oder überhaupt beim Ansehen hellen Lichtes oder lebhafter Farben sich leichte Schmerzen in den Augen oder im Kopfe einstellen, oder wenn die Nachbilder anfangen, lebhafter und dauernder zu werden, als sie im gesunden Auge sind.

Wir unterscheiden positive und negative Nachbilder in derselben Weise, wie man bei den Photographien von positiven und negativen Bildern redet. Positive Bilder sind solche, in denen die hellen Parthien des Objects ebenfalls hell, die dunkeln dunkel sind, negative Bilder dagegen solche, in denen die hellen Parthien des Objects dunkler, die dunkeln heller erscheinen.

Ich werde den Gang der Erscheinungen nun zunächst beschreiben, indem ich nur auf die Lichtstärke, nicht auf den Wechsel der Farben Rücksicht nehme, welcher den Wechsel der Helligkeit in den meisten Fällen begleitet, und seine Erklärung wahrscheinlich darin findet, dafs für die verschiedenen Farben die Dauer der einzelnen Stadien der Erscheinung verschieden ist. Um den normalen Verlauf der Nachbilder ungestört zu beobachten, ist es nothwendig zunächst die Netzhaut von den Nachbildern der früheren Lichteindrücke zu befreien, wozu es gewöhnlich nöthig ist und genügt, einige Minuten mit dicht bedeckten Augen zu sitzen, bis man im dunkeln Gesichtsfelde nichts mehr vor sich sieht als das Lichtchaos, dessen eigenthümliche Muster (meist gleichsam helle Gerinnsel durch baumartig und netzförmig vertheilte dunkle Streifen getrennt) man bald kennen lernt. Wenn man keine Bruchstücke von Zeichnungen äufserer Gegenstände mehr sieht, und auch beim Eindringen ganz schwachen Lichts durch die geschlossenen Augenlider keine mehr sichtbar werden, ist das Auge vorbereitet, um den Eindruck zu empfangen.

Richtet man nun die Augen eine kurze Zeit auf einen hellen Gegenstand, z. B. die helle Fensterfläche, am besten so, dafs man die Richtung der Augen unverändert läfst und sie nur auf- und zudeckt, so bleibt unmittelbar hinterher ein positives Bild des primären hellen Objects stehen, wie dies schon im vorigen Paragraphen besprochen ist. Dieses Bild ist desto schärfer und deutlicher, je weniger die Richtung der Augen verändert worden ist, und seine Helligkeit finde ich am gröfsten, wenn die Bestrahlung der Netzhaut durch das primäre Licht etwa nur $^1/_3$ Secunde gedauert hat. Die Erscheinungen des vorigen Paragraphen haben gelehrt, dafs die Stärke der Reizung durch das Licht während der ersten Zeitmomente seiner Wirkung zunimmt; aber sie erreicht sehr schnell ihr Maximum. Dauert die Bestrahlung länger als $^1/_3$ Secunde, so nimmt die Stärke des Nachbildes, welche der Intensität der zurückbleibenden Reizung der Sehnervensubstanz entspricht, schnell wieder ab, wovon wir den wahrscheinlichen Grund später nachweisen werden. Je gröfser übrigens die Intensität des primären Lichtes ist, desto heller ist das positive Nachbild, und desto länger dauert es. Dabei ist zu bemerken, dafs im positiven Nachbilde oft auch Grade der Helligkeit unterscheidbar werden, welche beim directen Anblick wegen zu grofser

359 Helligkeit nicht unterschieden wurden. Dreht man z. B. eine Lampe mit rundem Docht schnell aus, während man nach der erlöschenden Flamme hinblickt, so erkennt man im Nachbilde die gröfsere Helligkeit der Ränder im Vergleich zur Mitte der Flamme, welche man (siehe § 21) bei der directen Betrachtung schwer bemerkt. Dieselbe Bemerkung machte auch Aubert bei den Nachbildern des elektrischen Funkens, welcher, direct gesehen, als ein verwaschener Lichtstreif, im Nachbilde als eine scharf gezeichnete Linie erschien. Man kann übrigens auch von sehr mäfsig erleuchteten Gegenständen, z. B. von weifsem Papier, welches die zum Schreiben und Lesen bequeme Helligkeit hat, nach der beschriebenen Methode noch positive Nachbilder gewinnen, die eine erkennbare Dauer von etwa zwei Secunden haben, während im Gegentheil das helle Nachbild der Sonne oft mehrere Minuten lang stehen bleibt.

Um die positiven Nachbilder recht schön zu haben, beachte man noch folgende Regeln. Während ihrer Erzeugung und ihrer Dauer mufs man sorgfältig jede Bewegung des Auges und jede heftigere Bewegung des Körpers vermeiden, weil sie bei einer solchen stets für einige Zeit verschwinden. Nachdem man also genügende Zeit mit dicht bedeckten Augen gesessen hat, richte man unter den bedeckenden Händen die Augen nach der Richtung des Objects und bemühe sich, sie ganz unverrückt zu halten, während man die Hände schnell wegzieht und ebenso schnell wieder überdeckt. Diese Bewegung der Hände mufs aber leise und leicht, ohne starke Anstrengung und Erschütterung des Körpers ausgeführt werden. Wenn man dies Verfahren gut eingeübt hat, so gelingt es zuweilen das positive Nachbild unter den bedeckenden Händen so scharf und hell zu sehen, dafs es den Eindruck macht, als wären die Hände durchsichtig, und man sähe die wirklichen Objecte. Man hat Zeit genug, an diesen Nachbildern noch eine Menge einzelner Umstände zu bemerken, auf welche zu achten man während der wirklichen Betrachtung nicht Zeit hatte. Die lichtschwachen Flächen verschwinden am schnellsten, ohne ihre Farbe wesentlich zu verändern, die helleren bleiben längere Zeit stehen, wobei ihre Farbe durch bläuliche Töne in ein violettes Rosa, später Gelbroth übergeht. Zur Zeit, wo die helleren Stellen aus Blau in Violett übergehen, wird die Zeichnung des Nachbildes oft ziemlich undeutlich, weil, wie mir scheint, die hellen Theile dann verhältnifsmäfsig mehr an Licht verloren haben als die schwächer beleuchteten, und beide in ihrer Beleuchtung sich ziemlich nahe gekommen sind, und weil wir überhaupt, wie im folgenden Paragraphen noch näher zu besprechen ist, nur wechselnde Erregungszustände der Netzhaut gut von einander unterscheiden, für einen constanten Erregungszustand aber schnell das Unterscheidungsvermögen verlieren. Später werden in den positiven Nachbildern die weniger hellen Gegenstände ganz dunkel, und die helleren bleiben noch längere Zeit, jetzt rosa gefärbt, allein sichtbar. Sehr auffallend war es, wenn ich das Nachbild eines hellen Teppichs betrachtete, über welchen vom Fenster her ein Streifen Sonnenlicht fiel. Es trat eine Zeit ein, wo ich das

Muster des Teppichs vollständig sah, aber überall gleich hell, so dafs der Streifen Sonnenlicht sich nicht mehr bemerklich machte. Nachher verschwand das Muster des Teppichs, während die Figur des genannten helleren Streifen nun wieder in rosarothem Lichte erschien und bis zuletzt stehen blieb. Es 360
kann daher auch wohl bei bestimmten Beleuchtungsgraden die Zeichnung des Bildes ganz oder theilweis sehr undeutlich werden, und nachher wieder deutlicher, also scheinbar das Bild fast verschwinden und nachher sich wieder aufklären. Wenn man aber genau aufpafst, wird man bemerken, dafs der Grund des Bildes zur Zeit der Verwirrung der Zeichnung merklich heller ist, als wenn nacher die hellsten Stellen auf ganz schwarzem Grunde abgezeichnet wieder erscheinen. Es ist deshalb in solchen Fällen nicht der Lichteindruck verschwunden und wiedergekommen, sondern nur der Unterschied zwischen hellen und helleren Stellen für einige Zeit kleiner geworden und, die Fähigkeit ihn wahrzunehmen, verschwunden, bis neuer Wechsel in Färbung und Helligkeit des Nachbildes dieses wiederherstellen. Übrigens habe ich stets an Bildern, welche viele verschieden helle Objecte enthielten, gesehen, dafs die einzelnen Objecte desto später aus dem positiven Bilde gänzlich verschwanden, je heller sie waren. Bei schwachen Nachbildern, wie diejenigen wohl waren, welche Aubert nach der Beleuchtung der Objecte durch den elektrischen Funken erhielt, hat dieser Beobachter jedoch gefunden, dafs nach schwachen Funken die positiven Nachbilder länger dauerten, als nach starken Funken.

Hat man dagegen beim Auf- und Zudecken des Auges dieses kräftig bewegt, oder gedrückt, oder erschüttert, so sieht man im ersten Moment ein verwirrtes Lichtchaos, aus dem sich dann erst allmälig das Nachbild entwickelt. Ebenso wird das schon entwickelte Nachbild durch Bewegung, Erschütterung, Druck, äufseres Licht zeitweise oder ganz aufgehoben.

Wenn das äufsere Licht nur sehr kurze Zeit eingewirkt hatte, nicht blendend war, und das Gesichtsfeld ganz frei von allen Spuren äufseren Lichts gehalten wird, verschwindet das positive Bild gewöhnlich, ohne in ein negatives überzugehen. Wenn man aber, während das positive Nachbild noch besteht, oder auch etwas später, das Auge gegen gleichmäfsig beleuchtete Flächen kehrt, oder auch nur mit geschlossenen Lidern sich nach einer hellen Umgebung wendet, erscheint ein negatives Nachbild. Je stärker das positive Nachbild ist, desto stärker mufs auch das reagirende Licht gemacht werden, um es in ein negatives Bild zu verwandeln. Es giebt immer eine gewisse Stärke des reagirenden Lichts, bei welcher das positive Bild einfach verschwindet, ohne negativ zu werden. Ist das reagirende Licht stärker, so entsteht ein negatives Bild; ist es schwächer, so bleibt das Bild positiv und wird nur undeutlicher. Mit wachsender Stärke des reagirenden Lichts wächst übrigens auch die Deutlichkeit des Nachbildes, bis jene Lichtstärke den Grad überschreitet, der für Erkennung von Differenzen der Lichtstärke um kleine Bruchtheile am günstigsten ist, um dann wieder abzunehmen. Man kann somit auch Nachbilder erhalten von schwächerem primitiven Lichte auf

stärkerem reagirenden, nur mufs man auf sie gut aufpassen, weil sie sehr schnell vergehen. Auch nachdem das positive Bild geschwunden ist, bleibt auf hellen Flächen das negative Nachbild noch kurze Zeit sichtbar, indem es ebenfalls allmälig erblafst und verschwindet, ja es kann sogar im ganz dunkeln Gesichtsfelde sichtbar werden, indem es hier als eine Verminderung der Helligkeit des Eigenlichts der Netzhaut erscheint. In der Regel erscheint
361 dann dieses Eigenlicht selbst in der nächsten Umgebung des dunklen Nachbildes durch Contrast mit diesem etwas heller.

Gröfsere Intensität des primären Lichts giebt dem negativen Nachbilde eine gröfsere Deutlichkeit und Dauer. Auch unterscheiden sich im Nachbilde diejenigen Theile eines als primär beleuchtendes Object gebrauchten, blendend hellen Gegenstandes, welche eine objectiv verschiedene, für die Empfindung aber nicht verschiedene Lichtstärke haben. Ich habe oft gesehen, wenn ich nach der untergehenden Sonne geblickt hatte, dafs Gegenstände, die einen Theil der Sonnenscheibe bedeckten, im negativen Nachbilde deutlich zu erkennen waren, von denen beim directen Anblick der Sonne wegen der Irradiation keine Spur zu erkennen war. Selbst kleine Gegenstände, Zweige und Blätter von Bäumen können auf diese Weise nachträglich sichtbar werden. Die Reizempfänglichkeit derjenigen Netzhauttheile, welche das Bild der Sonnenscheibe selbst aufgenommen haben, ist also nachher stärker verändert, als sie es in den Netzhautstellen ist, welche von den Zerstreuungskreisen und dem diffus verbreiteten Lichte getroffen waren, obgleich die ursprüngliche Empfindung beider sich nicht unterscheiden liefs. Eben deshalb sind Nachbilder der Sonne anfangs gewöhnlich gröfser, als die Sonnenscheibe, und werden später kleiner, indem sich anfangs noch ein Nachbild der Zerstreuungskreise am äufseren Rande der Sonne hinzugesellt, welches aber schneller negativ wird und endlich früher schwindet, als das der Mitte des Sonnenkörpers, wo die volle Helligkeit desselben eingewirkt hat.

Der Einflufs der Dauer der primären Bestrahlung ist für das negative Nachbild ein anderer, als für das positive. Nämlich die Stärke des negativen Nachbildes nimmt zu mit der Dauer der Bestrahlung, und scheint sich erst bei längerer Dauer asymptotisch einem gewissen Maximum zu nähern. Durch lange Dauer sehr starker Bestrahlung kann sogar eine bleibende Veränderung der betreffenden Netzhautstelle entstehen, wie dies Ritter[1] erfuhr, als er 10 bis 20 Minuten lang direct in die Sonne gesehen hatte. Zur Erzeugung deutlicher negativer Nachbilder ist es deshalb nützlich, die primäre Bestrahlung länger (bei mäfsigem Licht etwa 5 bis 10 Secunden) dauern zu lassen. Dann ist das positive Nachbild schwach und schwindet schnell, das negative dagegen stärker und dauert länger. So z. B. schwindet wenn man helle Wolken durch das Fenster etwa $^1/_3$ Secunde lang betrachtet hat, das positive Nachbild nach etwa 12 Secunden, das negative auf

[1] Ritter, Beiträge zur näheren Kenntnifs des Galvanismus. 1805. Bd. II. S. 175—181.

hellerem Grunde nach etwa 24 Secunden. Wenn ich dasselbe Object dagegen 4 oder 8 Secunden betrachtete, schwand das negative Nachbild erst nach 8 Minuten. Ich hielt das Gesichtsfeld dabei ganz dunkel und liefs nur von Zeit zu Zeit schwaches Licht durch die geschlossenen Lider einfallen, um zu prüfen, ob das Nachbild noch da sei. Um das negative Nachbild recht scharf gezeichnet zu erhalten, ist es nothwendig, während der Dauer der Bestrahlung scharf einen bestimmten Punkt des hellen Objects zu fixiren. In dem negativen Nachbilde ist es noch besser als in dem flüchtigeren positiven möglich nachträglich Einzelheiten zu erkennen, die man bei der directen Beschauung nicht bemerkt hatte. Hat man nach einander zwei verschiedene Punkte des Objects fixirt, so erkennt man auch nachher 362 zwei sich theilweis deckende Nachbilder. So kann man auch im Nachbilde, wenn im Gesichtsfelde die Sonne steht, und man den Blick schnell über das Feld hinschweifen liefs, den ganzen Weg abgebildet erhalten, den das Sonnenbildchen auf der Netzhaut zurückgelegt hat. Hat man den Blick auf einzelnen Stellen des Feldes einen Augenblick festgehalten, so entsprechen diesen Punkten intensivere runde Nachbilder der Sonne, welche länger positiv bleiben, und wenn sie negativ geworden sind, dunkler werden und länger dauern. Diese sind verbunden durch schmalere verwaschene Streifen, welche anfangs zwar auch hell sind, sich aber bald negativ dunkler zeigen, und desto schwächer gezeichnet sind, je gröfser die Geschwindigkeit der Augenbewegung für die betreffende Stelle gewesen war. Diese Streifen sind schmaler als die Sonnenscheibe und am Rande verwaschen, weil über die ihrem Rande entsprechenden Netzhauttheile nur eine Sehne des runden Sonnenbildes hingeglitten ist, über die mittleren dagegen ein Durchmesser, auf letztere also das Sonnenlicht länger gewirkt hat.

Positive wie negative Nachbilder bewegen sich, wenn das Auge bewegt wird. Ihre scheinbare Lage im Gesichtsfelde entspricht immer dem Orte, wo ein Object sich befinden müfste, dessen Bild auf die von dem primären Lichte getroffene Netzhautstelle fallen sollte. Ist also der gelbe Fleck von starkem Lichte getroffen worden, so befindet sich das Nachbild, wo man auch hinsehen möge, immer im Fixationspunkte des Auges und hindert, wenn es stark ist, feinere Gegenstände zu erkennen. Liegt ein kräftig gezeichnetes Nachbild dicht neben dem Fixationspunkte, so verleitet es den Beschauer leicht, es fixiren zu wollen, das Auge wendet sich nach dem Nachbilde hin, und dann fliegt dieses scheinbar immer vor dem Fixationspunkte her nach dem Rande des Gesichtsfeldes hin, ähnlich den fliegenden Mücken. Fixirt der Beschauer aber einen äufseren festen Punkt, so stehen auch die Nachbilder still. Ihre Bewegung hängt immer nur von Bewegung des Auges ab.

Wenn wir nun aus den bisher beschriebenen Erscheinungen Schlüsse auf den Zustand der Netzhautstelle und des zugehörigen Theils des Sehnervenapparats ziehen wollen, welche von dem primären Lichte erregt worden waren, so finden wir, dafs in ihnen erstens nach Erlöschen des primären

Lichtes der Reizungszustand noch eine Zeit lang dauert, was durch die positiven Nachbilder angezeigt wird, und dafs zweitens die betreffende Nervensubstanz neu einfallendes, reagirendes Licht schwächer empfindet, als die früher von Licht nicht getroffenen übrigen Netzhautstellen. Nach der Einwirkung von Licht besteht also erstens Reizung fort, zweitens ist die Empfänglichkeit für neue Reize vermindert. Dafs Reizung einen Zustand verminderter Reizempfänglichkeit zurückläfst, findet auch bei den motorischen und bei anderen empfindenden Nerven statt. Wir nennen einen solchen Zustand Ermüdung.

Aus dem Umstande, dafs die negativen Nachbilder bei steigender Helligkeit des reagirenden Lichts so lange deutlicher werden, bis diese Helligkeit etwa den Grad erreicht hat, wo Verminderung der Lichtstärke um kleine Bruchtheile ihrer ganzen Gröfse am besten wahrgenommen wird, können wir schliefsen, dafs die Ermüdung der Sehnervensubstanz die Empfindung neu einfallenden
363 Lichtes ungefähr in dem Verhältnifs beeinträchtigt, als wäre die objective Intensität dieses Lichtes um einen bestimmten Bruchtheil ihrer Gröfse vermindert. Es soll, bei dem Mangel genügender Messungen, hierdurch nur der Gang im Allgemeinen bezeichnet werden, welchen die Intensität der Empfindung einer ermüdeten Netzhautstelle als Function der Intensität des reagirenden Lichtes einhält. So lange noch neben dem negativen Bilde das positive besteht, ist die Reizung der Netzhaut zusammengesetzt aus der noch fortbestehenden Reizung, welche das primäre Licht hervorgebracht hat, und der durch die Ermüdung verminderten Reizung durch das reagirende Licht, und in diesem Sinne können wir die Helligkeit des Nachbildes als die Summe der Helligkeit des positiven Bildes und der durch die Ermüdung verminderten Helligkeit des reagirenden Lichtes betrachten. Ist nun die Verminderung der Helligkeit des reagirenden Lichtes gröfser als die Helligkeit des positiven Bildes, so wird die ganze Helligkeit des Nachbildes geringer sein, als die Helligkeit des reagirenden Lichtes, wie sie den nicht ermüdeten Netzhautstellen der Umgebung erscheint, das Nachbild also negativ werden. Dies ist bei gröfserer Helligkeit des reagirenden Lichtes der Fall. Bei geringerer dagegen ist die Helligkeit des positiven Bildes mehr als hinreichend, den Verlust durch die Ermüdung zu decken; das Bild ist positiv.

Es sei $H$ die scheinbare Helligkeit des reagirenden Lichts in den nicht ermüdeten Netzhautstellen, $\alpha H$ in den ermüdeten, wo $\alpha < 1$, und $I$ die scheinbare Helligkeit des positiven Bildes, so mufs nach dem oben Gesagten bei wechselnder Gröfse von $H$ doch $\alpha$ ziemlich constant sein. Nehmen wir dies an, so ist $\alpha H + I$ die Helligkeit des Nachbildes, $H$ die des Grundes, auf welchem es erscheint. Für

$$H = \frac{I}{1-\alpha}$$

wird

$$I + \alpha H = H$$

das Nachbild so hell, wie der Grund, es wird unsichtbar. Für

$$H > \frac{I}{1-\alpha}$$

wird

$$I + \alpha H < H$$

das Nachbild negativ, umgekehrt für

$$H < \frac{I}{1-\alpha}$$

wird das Nachbild positiv. Ist $I$ sehr klein, so kann schon die scheinbare Helligkeit des Eigenlichtes der Netzhaut grösser sein als $\frac{I}{1-\alpha}$, dann wird das negative Bild auch im dunkelsten Gesichtsfelde erscheinen. Ist endlich das positive Bild ganz geschwunden, so ist $H$ die Helligkeit im Grunde und $\alpha H$ im Nachbilde. Ist $1 - \alpha$ bei schwindender Ermüdung sehr klein geworden, so wird eine gewisse mittlere Stärke des reagirenden Lichtes nöthig sein, um den Unterschied erkennen zu lassen. Im dunkeln Gesichtsfelde wird es dann nicht zu sehen sein. Endlich wird $1 - \alpha = 0$, und das Nachbild schwindet ganz.

Was die negativen Bilder im ganz verdunkelten Gesichtsfelde betrifft, so lehrt der Augenschein, dafs sie durch Verringerung des Eigenlichtes der Netzhaut zu Stande kommen. Dieses Eigenlicht also, welches wir aus der 364
Wirkung innerer Reize auf den Sehnervenapparat herleiten müssen, unterliegt den Wirkungen der Ermüdung ebenso wie der Eindruck des äufseren Lichtes. Dafs Ermüdung des Auges durch Reizung seine Empfänglichkeit für andere Reize beeinträchtigt, läfst sich übrigens auch für elektrische und mechanische Reize der Netzhaut nachweisen. Wenn man ein negatives Nachbild im Auge entwickelt hat, und läfst einen elektrischen Strom aufsteigend durch Auge und Sehnerven gehen, wobei die helle bläuliche Erleuchtung des Gesichtsfeldes eintritt, so wird das negative Nachbild dadurch verstärkt, und wenn ein Bild gerade im Uebergang von positiv zu negativ ist, kann man es durch einen aufsteigenden Strom negativ, durch einen absteigenden positiv machen. Das für Licht ermüdete Auge empfindet also auch den elektrischen Reiz schwächer. Hat man durch gleichmäfsig anhaltenden Druck Farbenerscheinungen im Auge entwickelt und läfst mit dem Drucke nach, so kann man die noch bestehenden Bilder im dunkeln Gesichtsfelde negativ machen, indem man Licht durch die geschlossenen Augenlider einfallen läfst, oder nach einer beleuchteten Fläche hinblickt. Die Ermüdung durch Druckreiz macht also das Auge auch gegen Lichtreiz unempfindlicher.

In solchen Fällen, wo man ein schwindendes Nachbild durch reagirendes Licht für einen Augenblick sichtbar gemacht hat, sieht man zuweilen unmittelbar nachher im dunkeln Gesichtsfelde wieder ein schwaches positives Nachbild. Daraus ist zu schliefsen, dafs in der ermüdeten Netzhautstelle die Reizung durch reagirendes Licht zwar schwächer ist, als in den nicht ermüdeten Theilen, aber länger nachdauert, welcher Umstand übrigens ebenfalls bei den motorischen Nerven seine Analogie findet, da die Zuckung eines ermüdeten Muskels zwar weniger kräftig ist, aber länger dauert, als die eines nicht ermüdeten. Dieser Wechsel zwischen positiven und negativen Bildern, welcher zuweilen bei wenig auffallenden Aenderungen der Beleuchtung durch Zukneifen der Augenlider, Bewegungen des Augapfels unter den geschlossenen Lidern, auch wohl nach subjectiven Lichterscheinungen durch plötzlichen Druck auf den Augapfel eintreten kann, hat einige Beobachter, namentlich Plateau, veranlafst, einen spontanen Wechsel der Zustände des Nervenapparats während der Dauer der Nachwirkung anzunehmen. Ich selbst kann in dieser Beziehung nur Fechner beistimmen, dafs in den meisten Fällen Wechsel der Beleuchtung, Bewegungen des Auges oder des Körpers u. s. w. Veranlassung zu diesem Wechsel geben. Aber natürlich kann zu einer Zeit, wo sich zwei entgegengesetzte Einflüsse gerade im Gleichgewichte halten, der kleinste Nebenumstand nach der einen oder anderen Seite einen Ausschlag geben. Ich erinnere daran, dafs selbst die Athembewegungen auf das Eigenlicht der Netzhaut einwirken. Zuweilen schwinden auch die Bilder nur, ohne sich in die entgegengesetzten zu verwandeln, und zwar, wie Aubert es passend bezeichnet, so als wenn eine nasse Stelle auf einem erwärmten Bleche schwindet. Uebrigens verschwinden auch schwache objective Bilder zuweilen in ähnlicher Weise, wenn man starr einen Punkt fixirt, z. B. eine Landschaft in der Nacht betrachtet. Es macht mir den Eindruck, als ob die Vergleichung der Erregungsstärke
365 verschiedener Netzhauttheile aufhörte möglich zu sein, wenn die Erregung nicht von Zeit zu Zeit wechselt. Bei objectiven Bildern ist dies jederzeit zu bewerkstelligen dadurch, dafs man den Fixationspunkt wechselt, bei subjectiven aber nicht. Wir kommen in der Lehre vom Contraste darauf noch wieder zurück. Ich finde übrigens, dafs, wenn man bei möglichst unverrückt gehaltenem Auge dergleichen Bilder aufmerksam festzuhalten sucht, das Gefühl der Anstrengung gerade dann am gröfsten ist, wenn die Bilder hinschwinden. Dann folgt nach einiger Zeit ein Nachlafs dieser Anstrengung, wobei die Bilder wiederkommen. Welche innere Veränderung dem entspricht, weifs ich nicht anzugeben.

Hierher gehören weiter folgende Erscheinungen, die sich aus den [illegible] gegebenen Principien erklären.

Wenn man auf grauem Grunde einen hellen Gegenstand, z. B. ein weifses Stück Papier, betrachtet, und dieses plötzlich entfernt, während man die Richtung des Auges unverändert läfst, so erscheint ein dunkleres Nachbild des weifsen Papiers, wie in den bisher beschriebenen Fällen. Betrachtet

man auf dem grauen Grunde dagegen ein Stückchen schwarzen Papiers, und
zieht dies weg, so erscheint ein helles Nachbild. Die von dem Bilde des
weifsen Papiers getroffene Stelle der Netzhaut ist mehr ermüdet, die von
dem schwarzen Bilde getroffene weniger ermüdet, als der Rest der Netzhaut,
auf welchem der graue Grund sich abbildete. Indem nachher die ganze
Netzhaut gleichmäfsig von dem Lichte des grauen Grundes getroffen wird,
wirkt dieses Licht am stärksten auf den Theil der Netzhaut, der primär
schwarz sah, schwächer auf den, der vorher grau sah, am schwächsten auf
den, der weifs sah. Der Versuch, bei dem wir das schwarze Papier be-
trachten und dann wegziehen, ist nun deshalb wichtig, weil er zeigt,
dafs bei längerer Betrachtung des grauen Grundes Ermüdung der von
seinem Lichte getroffenen Netzhaut eintritt, und dieses Licht deshalb
immer schwächer und schwächer empfunden wird. Wenn wir nämlich
das schwarze Papier wegziehen, trifft das Licht des grauen Grundes
eine ausgeruhte Stelle der Netzhaut, und macht auf diese eben denselben
Eindruck, den zu Anfang des Versuchs das Grau des Grundes gemacht
haben mufs. Dieses hat aber inzwischen die Theile der Netzhaut, die es
trifft, ermüdet, und erscheint viel dunkler, wenn wir es mit dem frischen
Eindrucke auf den unermüdeten Netzhautstellen vergleichen. Es unter-
scheidet sich dieser Versuch von den früheren dadurch, dafs das primäre
und das reagirende Licht dasselbe ist, nämlich das Licht des grauen
Grundes. Wir erkennen daraus, dafs *äufseres Licht von constanter
Stärke, welches längere Zeit ununterbrochen auf die Netzhaut
einwirkt, eine immer schwächer und schwächer werdende Er-
regung derselben hervorbringt.* Ja die Erregungsstärke kann, nament-
lich bei sehr schwachem Lichte, so abnehmen, dafs sie überhaupt nicht
mehr wahrgenommen wird. Wenn man bei hereinsinkender Nacht irgend
einen schwach erkennbaren Gegenstand anhaltend fixirt, ohne die Richtung
des Auges zu verändern, verschwindet derselbe bald vollständig, und erst
indem man die Richtung des Blicks verändert, pflegt das Object wieder im
negativen Nachbilde aufzutauchen. Namentlich am Seehorizonte ist diese
Erscheinung sehr auffallend, wenn man bei beginnender Dunkelheit sich
bestrebt, ihn zu durchmustern, weil hier die Nachbilder jedes Theiles des 366
Horizonts jedem anderen Theile congruent sind, und welchen Punkt des Horizonts
man auch fixiren mag, das Nachbild des dunkleren Meeres auf Meer, des helleren
Himmels auf Himmel fällt. Richtet man den Blick dann etwas höher, so
erscheint am unteren Theile des Himmels ein hellerer Streif, der unten
begrenzt ist durch die jetzt wieder sichtbar werdende Grenze des Meeres,
oben durch eine dieser parallel fortlaufende Linie, die durch den neuen
Fixationspunkt geht. Dieser Streif ist das negative Nachbild des Meeres,
auf den Himmel projicirt. Richtet man den Blick umgekehrt tiefer, so
erscheint ein schwarzer Streif, das negative Nachbild des Himmels auf dem
Meere, nach oben begrenzt durch den Horizont des Meeres, nach unten
durch eine damit parallele Linie. So kann der Horizont im indirecten Sehen

sichtbar werden, aber er verschwindet immer wieder, wenn man ihn direct zu fixiren sucht.

Aehnliche Erscheinungen treten auch ein, wenn man ein weifses oder schwarzes Quadrat auf grauem Grunde fixirt und den Fixationspunkt ein wenig verändert. Dann deckt das Nachbild des Papiers nicht vollständig das Papier selbst, und die Ränder verändern ihre Helligkeit. Wo das Nachbild des weifsen Papiers auf den grauen Grund zu liegen kommt, erscheint dieser dunkler; wo das Nachbild des grauen Grundes sich über das weifse Papier hinschiebt, erscheint dieses heller. Beim schwarzen Papier ist es umgekehrt. Hat man den Blick eine Zeit lang genau an einem bestimmten Punkte des Papiers festgehalten und richtet ihn plötzlich auf einen anderen benachbarten Punkt, so sind auch die Ränder des Nachbildes scharf gezeichnet, und der wahre Sachverhalt ist leicht zu erkennen. Wenn man dagegen fortdauernd mit dem Fixationspunkte geschwankt hat, so sind die Nachbilder schlecht begrenzt, und es erscheint dann der helle Grund in der Nähe des weifsen Papiers nur verwaschen dunkler schattirt, und der Rand des weifsen Papiers ebenso hell schattirt. Aehnliches geschieht, wenn man eine Zeit lang ein weifses Quadrat auf dunklem Grunde betrachtet hat und, ohne den Fixationspunkt zu verändern, das Auge plötzlich dem Object näher bringt, so dafs die scheinbare Gröfse des letzteren wächst. Dann erscheint der Rand des Quadrats, soweit er jetzt nicht mehr von dem Nachbilde des früher gesehenen Bildes gedeckt wird, hell aufzublitzen. Entfernt man dagegen das Auge plötzlich, nachdem man das Quadrat längere Zeit fixirt hat, so erscheint es auf dem dunkeln Grunde von einem dunkleren Rahmen umgeben.

*n* Die eben beschriebenen Versuche gehen nun in ganz ähnlicher Weise vor sich, wenn man statt vor dem grauen Grunde dieselbe weifse Scheibe vor ganz dunklem Grunde betrachtet. Es tritt hierbei das Eigenlicht der Netzhaut an Stelle des Grau. Nur gesellt sich dazu noch gewöhnlich eine eigenthümliche Erscheinung, die mir davon herzurühren scheint, dafs, ehe man absichtlich die weifse Scheibe fest zu fixiren begann, der Regel nach der Blick im Gesichtsfelde gewandert ist, und dabei die verschiedenen Theile der Netzhaut nach einander verschieden hellen Beleuchtungen ausgesetzt waren und daher im Beginn des Versuchs, mäfsig ermüdet sind. Dadurch wird auch die Empfindung ihres Eigenlichts herabgesetzt. Geht man nun zu fester Fixation eines bestimmten Punctes der weifsen Scheibe über, so schwächt sich durch steigende Ermüdung das Weifs, während der Lichtnebel des dunklen Gesichtsfeldes zunimmt und allmälig deutlicher, namentlich in der Umgebung des weifsen Feldes hervortritt, wo ein objectiver Maafsstab, der in Wahrheit freilich irreführt, an der langsam sinkenden Helligkeit der weifsen Scheibe gegeben zu sein scheint.

Viele Beobachter, wie früher Plateau, neuerdings E. Hering[1] deuten

[1] E. Hering, Ueber successive Lichtinduction und sogenannte negative Nachbilder, *Pflüger's Archiv.* Bd. 43. S. 264. 1888.

dies so, als wenn das weifse Feld durch Contrast in seiner Nachbarschaft eine neue subjective Lichtempfindung hervorriefe, oder, wie sie es nennen, „inducire". Ich finde eine solche besondere Hypothese nicht nöthig. Wir kommen übrigens noch in der Lehre vom Contrast auf diese Hypothese zurück. In den darüber gemachten Auseinandersetzungen wirkt auch vielfältig die Ansicht mit ein, dafs das Eigenlicht der Netzhaut eine Empfindung von verschwindend kleiner Intensität sei, während man dasselbe, wie ich oben auf Seite 414 schon hervorgehoben habe, überhaupt nur durch die kleinen Differenzen seiner Stärke kennt, die den Lichtstaub des dunkeln Gesichtsfeldes bilden, während seine mittlere Stärke nach der modificirten FECHNERschen Hypothese berechnet, gar nicht so klein sein kann. Was man nach meiner Ansicht der Sache am Rande der Nachbilder von weifsen Scheiben sieht, würde als die wahre Stärke des Eigenlichts ausgeruhter Netzhautstellen zu betrachten sein, nur besonders deutlich wahrnehmbar durch den Contrast.

**Zeitlicher Verlauf eines durch constante Beleuchtung erzeugten Eindrucks.** Die beschriebenen Erscheinungen lassen auf folgenden Verlauf der Empfindungsstärke schliefsen, wenn von einem bestimmten Augenblick ab in einer ausgeruhten Netzhautstelle eine constante Beleuchtung beginnt. Der Eindruck des ersten Moments hat eine Nachwirkung von gewisser Dauer. Dazu gesellt sich gleich darauf verstärkend der Eindruck des zweiten Zeittheilchens, und so fort jedes folgenden. Aber gleichzeitig läfst jede dadurch erregte Thätigkeit des Nerven, die sich durch die Empfindung wahrnehmbar macht, auch einen gewissen Grad von Erschöpfung zurück, die unter dem Einflufs des arteriellen Blutes nur langsam schwindet. Die später folgenden neuen Lichteinwirkungen bringen, zusammenwirkend mit den schwindenden Nachwirkungen der vorausgegangenen, also nicht mehr dieselbe Höhe der Summe hervor, wie die ersten, welche mit einem Zustand geringerer Ermüdung des Auges zusammentrafen. Daraus folgt, dafs eine constante Beleuchtung eine im Anfang schnell steigende Empfindung geben mufs, die dann ein Maximum erreicht, später wieder sinkt. Den Beweis für das Sinken der Erregung hat uns der vorher beschriebene Versuch mit einer weifsen Scheibe gegeben, die zuerst auf schwarzem Grunde gesehen wurde und die dann, wenn ihr ein gleich heller weifser Grund untergeschoben wurde, in negativem Nachbilde erschien, dunkler als der gleich beleuchtete Grund.

Um die Zeit zu bestimmen, welche verfliefst, ehe das Maximum erreicht wird, können Versuche dienen, die nach folgendem Plane angestellt wurden und von Herrn SIGMUND EXNER[1] ausgeführt worden sind. Man zeigt dem beobachtenden Auge erst ein begrenztes weifses Scheibchen (Halbkreis) auf schwarzem Grunde, eine mefsbare kleine Zeit später erscheint überall ganz weifser Grund von gleicher Helligkeit, noch etwas später wird das

[1] SIGMUND EXNER, Ueber die zu einer Gesichtswahrnehmung nöthige Zeit. *Sitz.-B. d. Wiener Akad.* Abth. II. Bd. 58. S. 601—632. 1868.

Ganze mit Schwarz verhüllt. Der Beobachter aber behält ein Nachbild im Auge, welches den Intensitäten der letzten Momente der Empfindung entspricht. Hat der erst entstandene Eindruck schon sein Maximum erreicht, der zweite noch nicht, so bleibt das ursprüngliche Bild in positivem Nachbilde stehen. Haben beide das Maximum überschritten, so ist der erste schon mehr gesunken, als der zweite; das Nachbild ist negativ. Dazwischen liegt ein Moment, wo die ursprüngliche Figur weder positiv noch negativ sichtbar bleibt, sondern ganz ausgelöscht wird. Dann mufs der erste Eindruck das Maximum schon überschritten, der zweite es noch nicht erreicht haben.

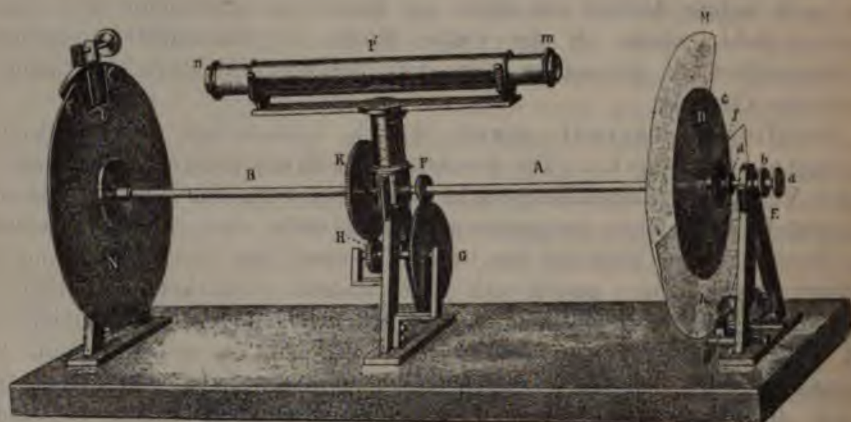



*Fig. 191.*

Um die Bedingungen des Versuchs herzustellen, diente der in *Fig 191* abgebildete Apparat. Der Beobachter blickte durch einen feststehenden Spalt *1* von der Breite seiner Pupille. Unmittelbar vor diesem Spalt rotirte eine Messingscheibe *N*, deren Rand den Spalt zudeckte. Nur ein Zwölftheil des Randes war ausgeschnitten. So lange dieser Ausschnitt vor dem Auge verweilte, sah der Beobachter hierdurch die Bilder eines nicht vergröfsernden astronomischen Fernrohrs *P*, d. h. eines Systems zweier Convexlinsen *m* und *n* von gleicher Brennweite, die um die Summe ihrer Brennweiten von einander entfernt waren. Jenseits dieses Linsensystems rotirte eine zweite Scheibe *D* zwölfmal so schnell wie die erste, so dafs sie in 10 Secunden einen ganzen Umlauf machte, während der erwähnte Ausschnitt der ersten Scheibe am Auge des Beobachters vorüberging. Diese Scheibe enthielt, eingeklemmt zwischen zwei kleineren Messingscheiben, Sectoren theils von weifsem und schwarzem steifen Papier, theils konnten Spalten zwischen diesen freigelassen werden, durch welche das Fernrohr einen Augenblick Bilder ferner Objecte zeigte. Die zweite Scheibe stand im hinteren Brennpunct des Linsensystems, das Auge des Beobachters im vorderen, so dafs das optische Bild der zweiten Scheibe mit der Pupille des Beobachters zusammenfiel und für diesen sich, beim Vorrücken eines verdeckenden Randes der entfernteren Scheibe, das gesehene Bild gleichmäfsig im

ganzen Felde verdunkelte, wozu nur so viel Zeit nöthig war, als der genannte Rand brauchte, um die Breite der Pupille zu durchlaufen.

Bei den Versuchen erblickte der Beobachter zuerst durch das Fernrohr das begrenzte weifse Feld, dann trat ein weifser Sector der Scheibe vor, dann ein schwarzer, der den gröfseren Theil des Umfangs einnahm. Zwischen den einzelnen Beobachtungen blieben immer Pausen von zwei Minuten, bis der Ausschnitt der ersten Scheibe wieder den Blick frei liefs.

S. EXNER fand, dafs das Maximum desto früher eintrat, je stärker die Beleuchtung des weifsen Feldes war; ich gebe hier die Ergebnisse zweier Versuchsreihen:

| Intensität | Zeit zur Erreichung des Maximum nöthig in Secunden | |
|---|---|---|
| | I. Reihe | II. Reihe |
| 1 | 0,2873 | 0,2654 |
| 2 | 0,2460 | 0,2176 |
| 4 | 0,2000 | 0,1744 |
| 8 | 0,1508 | 0,1188 |

Man sieht daraus, dafs das Maximum desto schneller erreicht wird, je stärker das Licht, und zwar sind die Zeitdifferenzen, welche einer Verdoppelung der Beleuchtungsstärke entsprechen, nahehin gleich grofs.

Der genannte Beobachter hat auch durch Benutzung verschieden starker Beleuchtungen der beiden weifsen Felder noch andere Puncte der Curve abmessen können, welche die Empfindungsstärke als Function der Zeit darstellt, und dadurch die Form einer solchen Curve (*Fig 192*) ziemlich vollständig hergestellt.

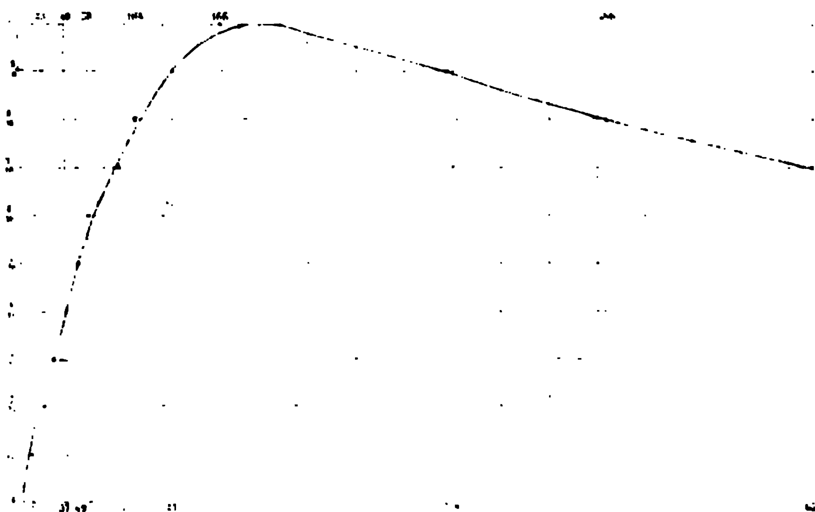


Fig. 192.

Mit demselben Apparat wurden noch Beobachtungen über die Zeit gemacht, in welcher die Wahrnehmung des Gesichtsbildes zu Stande kommt; davon später.

366 Für die Seitentheile der Netzhaut haben PURKINJE und AUBERT bemerkt, dafs der Eindruck heller Objecte auf ihnen viel leichter schwindet, als im Centrum. Die Ermüdung scheint dort also viel schneller einzutreten. Für die negativen Nachbilder auf den Seitentheilen hat AUBERT gefunden, dafs sie weniger intensiv sind, als die centralen, übrigens sich im Wesentlichen ähnlich verhalten. Aufserdem, finde ich, werden sie viel leichter übersehen, als die centralen Nachbilder, selbst auf hellen Flächen, und nur beim Wechsel der Beleuchtungsstärke bemerkt man sie leicht.

Wir gehen jetzt über zu den Farbenerscheinungen der Nachbilder. Wenn man farbige Objecte betrachtet hat und die Nachbilder auf ganz dunklem oder weifsem Grunde von verschiedener Helligkeit betrachtet, so
367 entsteht je nach Umständen ein positives oder negatives Bild. Das positive Bild ist im Anfang in den Stadien seiner gröfsten Helligkeit gleich gefärbt mit dem Object, und das negative Bild ist, wenigstens sobald es vollständig und kräftig entwickelt ist, complementär zu dem Objecte gefärbt. Der Uebergang von dem positiven zu dem negativen Bilde geschieht indessen gewöhnlich so, dass sich weifsliche oder graue Farbentöne anderer Art dazwischenschieben, und zwar ist die Ordnung dieser Farben in der Regel dieselbe, gleichviel ob der Uebergang durch allmäliges Nachlassen der Reizung oder durch Steigerung der Helligkeit des Grundes geschieht.

Die positiven Bilder entwickelt man am besten durch momentane Wirkung des primären Lichtes. Hat man dabei verschieden gefärbte Objecte vor sich, so zeigt das zurückbleibende positive Nachbild im Anfange die Objecte genau in ihren natürlichen Farben. Ehe das Nachbild verschwindet, ergiefst sich darüber meistens ein rosenrother Schein, in welchem die früheren Farbenunterschiede fast ganz verschwinden, dann folgen schwach gefärbte gelblich-graue Töne, in denen das der Helligkeit nach positive Bild schwindet oder in ein schwach gezeichnetes negatives Nachbild übergeht.

Die negativen Nachbilder erhält man besser nach längerer Fixation des Objectes. Um sie zu sehen, lege man farbige Papiere auf einen grauen Grund, fixire einen bestimmten Punkt des farbigen Papiers und ziehe es plötzlich weg. Dann erscheint auf dem grauen Grunde ein scharf gezeichnetes negatives Nachbild von complementärer Färbung. So ist z. B. das Nachbild von Roth blaugrün, von Gelb blau, von Grün rosaroth, und umgekehrt. Ueber die Dauer und Stärke dieser Nachbilder gilt im Allgemeinen dasselbe, was vorher über die Nachbilder weifser Objecte gesagt worden ist.

Das Auge also, welches z. B. Gelb gesehen hat, befindet sich nachher in einem Zustande, wo die blauen Theile des weifsen Lichts es stärker afficiren, als die gelben Theile. Die Ermüdung der Netzhaut erstreckt ihre Wirkung demnach nicht gleichmäfsig auf jede Art von Reizung, sondern hauptsächlich auf eine solche Reizung, welche der primären ähnlich ist. Sehr einfach wird dieser Umstand aus TH. YOUNG's Annahme dreier für die

verschiedenen Farben verschieden empfindlichen Nervenarten erklärt. Denn da das farbige Licht diese drei Arten von Nerven nicht gleich stark erregt, so müssen den verschiedenen Graden der Erregung auch verschiedene Grade der Ermüdung nachfolgen. Hat das Auge Roth gesehen, so sind die rothempfindenden Nerven stark gereizt und sehr ermüdet, die grünempfindenden und violettempfindenden schwach gereizt und wenig ermüdet. Fällt nachher weifses Licht in das Auge, so werden die grün- und violettempfindenden Nerven davon verhältnifsmäfsig stärker afficirt werden, als die rothempfindenden. Der Eindruck des Blaugrün, der Complementärfarbe des Roth, wird deshalb in der Empfindung überwiegen.

Entsprechend verhält es sich, wenn man negative Nachbilder von farbigen Objecten auf farbigem Grunde betrachtet. Aus der Farbe des Grundes schwinden immer hauptsächlich diejenigen Bestandtheile, welche in der primär angeschauten Farbe überwiegen. So läfst ein grünes Object auf gelbem Grunde ein rothgelbes Nachbild, auf blauem Grunde ein violettes. Denken wir uns das Gelb aus Roth und Grün, das Blau aus Grün und Violett zu- 368
sammengesetzt, dann das Grün in beiden durch Einflufs der Ermüdung vermindert, so ergiebt sich der Erfolg, dafs das Nachbild im Gelb sich dem Roth, im Blau dem Violett nähern wird. Ueberhaupt liegt die Farbe des Nachbildes immer zwischen der des Grundes und der der Complementärfarbe des Objects, und kann, soweit es nur den Farbenton, nicht die Helligkeit betrifft, als eine Mischung von beiden angesehen werden.

Herr C. HESS hat unter Leitung von Herrn E. HERING Versuche über farbige Nachbilder angestellt,[1] deren Ergebnisse sich durchaus unter die oben aufgestellte Regel einordnen, die er aber glaubt zur Widerlegung der Theorie von TH. YOUNG verwerthen zu können. Seine Einwendungen wären richtig einer Farbentheorie gegenüber, die die Grundfarben in einer oder einigen der Spectralfarben zu finden glaubt, und aufserdem das Eigenlicht der Netzhaut als verschwindend klein betrachtet. Gegen die erstere Annahme habe ich mich schon in der ersten Ausgabe dieses Werkes erklärt mit besonderer Beziehung auf die Nachbilder. Nun wissen wir von dem Verlauf der Ermüdungserscheinungen im Auge bisher noch zu wenig, da wir es in allen beobachtbaren Fällen ohne Ausnahme mit Ermüdung aller drei Faserarten zu thun haben, um Schätzungen über den gröfseren oder kleineren Einflufs mit einiger Sicherheit anstellen zu können, wie sie Herr HESS anstellt. Aber schliefslich handelt es sich hier nur darum, zu zeigen, dafs eine Hypothese über die Gröfse und den Verlauf der Netzhautermüdungen möglich ist, die mit den Thatsachen dieses Gebietes in Übereinstimmung ist, welche hier übrigens nur dazu dienen soll, statt der schwankenden Schätzungen von HESS eine in sich folgerichtige Rechnung mit bestimmten Gröfsen zu setzen, die übrigens natürlich keinen anderweitigen Anspruch auf genaue Richtigkeit macht.

Setze die Componenten des primären Lichts gleich $x$, $y$, $z$, die des reagirenden Lichts gleich $\xi$, $\eta$, $\zeta$. Setze ferner, dafs während der Einwirkung von $x$ die Erregungsstärke der gleichen Grundfarbe $\xi$ mit steigender Zeit $t$ abnehme, wie

[1] C. HESS, Über die Tonänderungen der Spectralfarben durch Ermüdung der Netzhaut mit homogenem Lichte. *Graefe's Arch.* Bd. 36. Abth. 1. S. 1—32. 1890.

$$\xi' = \xi \cdot e^{-kxt}.$$

Ebenso

$$\eta' = \eta \cdot e^{-kyt}$$

$$\zeta' = \zeta \cdot e^{-kzt}.$$

Diese Gleichungen drücken aus, dafs diese Erregungen mit der Zeit um so schneller abnehmen, je stärker die Intensität der ermüdenden Farbe.

Daraus folgt

$$\frac{\xi'}{\eta'} = \frac{\xi}{\eta} \cdot e^{-k(x-y)t}.$$

Ist also im ermüdenden Licht $x$ stärker vertreten als $y$, so wird $\frac{\xi'}{\eta'}$ mit steigender Ermüdung kleiner als $\frac{\xi}{\eta}$. Ebenso ist, wenn $y > z$ das $\frac{\eta'}{\zeta'} < \frac{\eta}{\zeta}$, d. h. der Farbenton des Nachbildes ändert sich so, dafs das $\xi$ am meisten zurücktritt, $\eta$ weniger, $\zeta$ am wenigsten. Zurücktreten der überwiegenden Farbe $x$ nähert das Nachbild im Farbenton deren Complementärfarbe, wozu sich dann noch die complementäre Färbung des Eigenlichts der Netzhaut gesellt.

Gäbe es Spectralfarben, die nur einer oder zweien Grundfarben entsprächen, in denen also $z = 0$ oder $y = z = 0$ wäre, so würde für diese keine Ermüdung eintreten und deren Nachbild würde sich der Complementärfarbe dieser Farben nicht nähern können, und die letztere nun aus dem Eigenlicht herstammen können. Dann wäre der Einwurf von Hess berechtigt.

368 Von besonderem Interesse sind die Fälle, wo die Farbe des Objects der des Grundes gleich oder complementär ist. Um Beobachtungen über den ersteren Fall zu machen, thut man am besten, ein schwarzes Object auf einen farbigen Grund zu legen, und nachdem man einen Punkt seines Randes eine Weile fixirt hat, es plötzlich hinwegzuziehen. Unter diesen Umständen ist der neben dem Schwarz sichtbare Theil des Grundes als das primäre farbige Object zu betrachten, der ganze farbige Grund nach Entfernung des schwarzen Objects als das reagirende Licht. Man sieht alsdann ein helles Nachbild des schwarzen Objects, in welchem die Farbe des Grundes nicht blos lichtstärker, sondern auch gesättigter ist, als im Rest des Grundes, so dafs sie auf dem letzteren mit vielem Grau gemischt zu sein scheint. Bei einiger Aufmerksamkeit erkennt man das Dunkel- und Grauwerden des farbigen Grundes auch wohl, ehe man das schwarze Object wegnimmt. Recht auffallend wird es im letzteren Momente, weil nun an dieser Stelle die Farbe in der Weise sichtbar wird, wie sie im ersten Augenblicke des Beschauens dem unermüdeten Auge erscheint. Dieses Grauwerden des Grundes findet sich nicht blos bei gemischten weifslichen Farben, bei welchen es so stark werden kann, dafs der Farbenton des Grundes ganz verschwindet, sondern selbst bei den homogenen Farben des Spectrum und gewisser farbiger Gläser, nachdem man auf das Sorgfältigste alles fremde

weifse Licht ausgeschlossen hat. Wenn man z. B. ein mit Kupferoxydul roth gefärbtes Glas, welches nur rothe Strahlen hindurchläfst, vor die Augen nimmt, den Kopf und die Ränder des Glases mit einem dunkeln Tuche umhüllt, so dafs nur rothes Licht zu den Augen dringen kann, dann durch das Glas nach einer weifsen Fläche sieht und vor diese ein schwarzes Object bringt, welches man plötzlich entfernt, so sieht man den Gegensatz zwischen dem rothgrauen Grunde und dem gesättigten Roth des Nachbildes ganz deutlich. Die Erklärung dieser Erscheinung liegt offenbar darin, dafs während des Anschauens der rothen Farbe des Grundes die betreffenden Theile der Netzhaut für Roth ermüden und es deshalb schwächer empfinden, als die unermüdeten Theile, auf welche das Bild des schwarzen Objects gefallen war. Ist das Roth auch noch mit Weifs gemischt, so nimmt die Empfindlichkeit für das Roth in einem stärkeren Verhältnisse ab, als für die übrigen Farben, die in dem beigemischten Weifs enthalten sind, und die Farbe mufs deshalb durch die Ermüdung der Netzhaut verhältnifsmäfsig weifslicher werden; da sie aber auch gleichzeitig lichtschwächer wird, erscheint sie grau. Dasselbe geschieht nun aber nicht blos mit weifslichem Roth, sondern auch mit ganz reinem Roth, und hier wird man die Erklärung theils von dem Lichtnebel des n
dunkeln Gesichtsfeldes, theils von der gemischten Natur der Eindrücke sämmtlicher Spectralfarben herleiten müssen.

Wenn die primäre Farbe complementär zu der reagirenden Farbe des 369
Grundes ist, so erscheint die letztere in der Ausdehnung des Nachbildes gesättigter als auf den nicht ermüdeten oder durch die Farbe des Grundes ermüdeten Theilen der Netzhaut. Wenn man auf einen rothen Grund ein blaugrünes Object legt, und nachdem man es eine Weile fixirt hat, es wegzieht, so erscheint ein gesättigt rothes Nachbild, ähnlich als hätte man ein schwarzes Object weggenommen. Man kann sich aber leicht überzeugen, dafs die Farbe im Nachbilde eines complementären Objects noch gesättigter ist, als im Nachbilde eines schwarzen Körpers. Am einfachsten ist es, sich ein Object zu verfertigen, von dem ein Theil schwarz, ein anderer farbig, z. B. blaugrün ist, dies auf einen complementären (rothen) Grund zu legen, und einen Punkt des Grundes dicht an der Grenze des Schwarz und Blaugrün zu fixiren. Nimmt man das Object dann weg, so erscheint in dem ganzen Nachbild die Farbe des Grundes klarer als in dem vorher unbedeckten Theile des Grundes. Das Nachbild des Blaugrün ist etwas dunkler als das des Schwarz, aber es ist nicht das Roth, welches dort lichtschwächer wäre, vielmehr erscheint das Roth im Nachbilde des Schwarz wie von einem weifslichen Nebel übergossen, welcher im Nachbilde des Blaugrün das Roth freiläfst. Es erscheint also das Nachbild des Roth auf Roth grauroth, des Schwarz auf Roth weifsroth, des Blaugrün auf Roth gesättigt roth. Man sieht diese Unterschiede sehr gut, wenn man bei diesen Versuch alle drei Nuancen neben einander hat.

Setzt man voraus, dafs das Roth des Grundes noch Weifs enthalt, so 370

erklärt sich der Erfolg leicht. Schwarz ermüdet das Auge gar nicht, es empfindet im Nachbilde unverändert das weifsliche Roth des Grundes. Roth ermüdet das Auge für Roth, es empfindet im Nachbilde das Roth schwächer, die übrigen Bestandtheile des Weifs ziemlich ungeschwächt, die Empfindung ist die von lichtschwachem weifslichen Roth (Grauroth). Das Blaugrün macht dagegen das Auge unempfindlicher für die dem Roth fremdartigen Theile in dem Lichte des Grundes, und läfst also das Roth im Nachbilde freier von fremden Beimengungen heraustreten.

Dieselben Versuche gelingen nun aber ebenso gut mit reinen Spectralfarben. Ich habe im Felde eines Fernrohrs mir einzelne Theile des Spectrum hergestellt mit allen Vorsichtsmafsregeln, welche nöthig sind, um die letzten Reste weifsen Lichts zu entfernen. Der Grund war so tiefschwarz, dafs man die Blendung des Fernrohrs auf ihm nicht mehr erkennen konnte, vielmehr die wolkigen Figuren des inneren Lichtnebels auf ihm sah. Das Auge wurde von keinem anderen Lichte, als dem eines kleinen Theils des Spectrum getroffen. Auf dieses farbige Feld warf ich nun Nachbilder von complementären Spectralfarben. Zu dem Ende war vor das Ocular unter 45° ein kleines bewegliches Stahlspiegelchen gestellt, in welchem man gespiegelt einen passend abgeblendeten Theil eines anderen, sehr hellen Spectrum sah, durch eine kreisförmige Blendung abgegrenzt. Für dieses zweite Spectrum ist ein so hoher Grad von Reinheit nicht erforderlich. Die Anordnungen waren so getroffen, dafs der ganze Kreis in der gleichen Farbe erschien. Sobald man das Spiegelchen vor dem Ocular fortzog, sah der Beobachter statt des bisher durch Reflexion gesehenen Kreises durch das Fernrohr auf das reine Spectrum. Auf diesem erschien das Nachbild des farbigen Kreises. Es traten hier genau dieselben Erfolge ein, wie bei den ähnlichen Versuchen mit Pigmentfarben. Namentlich erschien das Nachbild der Complementärfarben als eine gesättigtere Farbe im Vergleich mit der Farbe des Grundes. Der letztere schien wieder mit einem weifslichen Lichtnebel bedeckt zu sein, welcher an der Stelle des Nachbildes gleichsam fortgenommen war, und die Farbe des Grundes in ihrer gröfsten Reinheit hervortreten liefs. Aus diesen Versuchen geht unabhängig von den Gründen, die uns die Untersuchung der Farbenempfindlichkeit in § 21 geliefert hat, die wichtige Folgerung hervor, dafs die gesättigtesten objectiven Farben, welche existiren, die reinen Spectralfarben, im unermüdeten Auge noch nicht die gesättigteste Farbenempfindung hervorrufen, welche überhaupt möglich ist, sondern dafs wir diese erst erreichen, wenn wir das Auge gegen die Complementärfarbe unempfindlich machen.

Auch in diesem Falle könnte man glauben, dafs der weifsliche Schein, welcher den Grund überzieht, der innere Lichtnebel sei, dessen störende Theile im Nachbilde entfernt seien. In der That sieht man, wenn man das Auge auf den dunkeln Grund neben dem Spectrum richtet, ein complementär gefärbtes Nachbild. Auch in diesem Falle halte ich diese Erklärung für ungenügend, weil die Erscheinung auf sehr hellen Spectralfarben zu sehen

ist, gegen welche die scheinbare Helligkeit des Lichtnebels doch wohl zu klein erscheint. Folgen wir dagegen der Annahme von TH. YOUNG, so würden wir hier die reinen Farbenempfindungen der einzelnen Nervenarten vor uns haben, gegen welche die Spectralfarben immer noch weifslich er- 371
scheinen müssen, weil nach der nothwendigen Modification jener Annahme jede einzelne Art homogenen Lichts nicht blos eine einzige Art von Nervenfasern ausschliefslich erregen kann.

Alle diese Versuche über Nachbilder farbiger Objecte auf farbigem Grunde kann man nun auch so anstellen, dafs man den Fixationspunkt wechselt, oder das Object dem Auge nähert und wieder davon entfernt, wie dies vorher für weifse Objecte beschrieben ist. Hat man zum Beispiel eine blaue Scheibe auf gelbem Grunde eine Weile so betrachtet, dafs man einen Punkt derselben fixirte, und wechselt nun den Fixationspunkt, so fällt das Nachbild der blauen Scheibe zum Theil auf den Grund, zum Theil auf die Scheibe; ebenso das Nachbild des Grundes. Wo das Nachbild der Scheibe auf den Grund fällt, erscheint das Gelb gesättigter, ebenso das Blau, wo das Nachbild des Grundes auf die Scheibe fällt. Dagegen erscheint das Blau und Gelb mit Grau gemischt, wo das Nachbild der Scheibe auf die Scheibe, und das Nachbild des Grundes auf den Grund fällt. Der Erfolg der übrigen Abänderungen dieser Versuche läfst sich leicht übersehen. Zuweilen mischen sich auch Contrasterscheinungen ein. Hat man ein weifses Papierschnitzelchen auf rothem Grunde fixirt, und wirft dann das Nachbild auf Weifs, so ist das Nachbild des rothen Grundes blaugrün, das des kleinen weifsen Feldes roth durch Contrast zu jenem Grün, wie sich im nächsten Paragraphen zeigen wird. Am besten legt man zu dem Ende das farbige Papier auf ein weifses Blatt, auf das farbige dann ein weifses Schnitzelchen, welches man mit einer Pincette festhält, während man das farbige Blatt wegzieht. Schwach erscheint eine solche Contrastfärbung auch um das Nachbild eines farbigen Quadrats auf weifsem Grunde.

Aber nicht nur farbige, sondern auch weifse Objecte geben farbige Nachbilder, in denen die Farben gewöhnlich mannigfach wechseln. Man bezeichnet diese Erscheinungen gewöhnlich als das farbige Abklingen der Nachbilder. Die Reihenfolge der Farben ist dabei verschieden, je nach der Dauer und der Intensität des primären Eindrucks. Die Farbenfolge nach momentaner Anschauung finde ich übereinstimmend mit FECHNER[1] und SEGUIN.[2] Das ursprüngliche Weifs geht schnell durch grünliches Blau (SEGUIN Grün) in schönes Indigblau, später in Violett oder Rosenroth über. Diese Farben sind hell und klar. Dann folgt ein schmutziges oder graues Orange, während dessen sich das positive Nachbild meist schon in ein negatives verwandelt, und im negativen Bilde wird dieses Orange oft noch ein schmutziges Gelbgrün. Nach sehr kurzer Einwirkung des primären Lichts ist meist das Orange die letzte Farbe, und das Bild schwindet, ehe es ne-

[1] FECHNER, *Pogg. Ann.* L. 220. 1840.
[2] SEGUIN, *Annales de Chimie et de Physique.* 3 Sér. XLI. [illegible]

gativ wird. Dieselbe Farbenfolge fand auch AUBERT nach der Betrachtung des etwas bläulich gefärbten Entladungsfunkens einer Leydener Flasche, nur war das Orange auf dunklem Grunde nicht deutlich erkennbar, auf weifsem dagegen sowohl diese Farbe als das folgende Grün sehr deutlich. Umgeben ist das Bild von einem gelben Hofe, wohl dem negativen Nachbilde des durch unregelmäfsige Brechung im Auge zerstreuten bläulichen Lichts.

372 Die bisher beschriebenen Erscheinungen beziehen sich auf den Verlauf des Nachbildes im ganz dunkeln Felde. Wenn es dabei überhaupt zur Bildung negativer Nachbilder kommt, so erscheinen diese nur in das Eigenlicht des dunkeln Feldes dunkel eingezeichnet. Wenn man nun während des Bestehens eines solchen Nachbildes allmälig reagirendes Licht zuläfst, indem man die Hände, oder ein dunkles Tuch, mit dem man die Augen bedeckt hat, langsam hinwegzieht, so beobachtet man im Allgemeinen, dafs das Nachbild dabei in die späteren Stadien seiner Farbenentwickelung übergeht und wieder zurückschreitet, wenn man das reagirende Licht wieder schwächer macht. Läfst man z. B. Licht hinzutreten, während das Bild im absoluten Dunkel blau ist, so geht es durch Rosaroth in ein negatives gelbes Bild über. Deckt man schnell genug wieder zu, so findet man das Blau wieder. Ist das Bild im absoluten Dunkel rosaroth, so wird es durch schwaches Licht gelbroth u. s. w. Wenn das positive Nachbild im dunkeln Gesichtsfelde schliefslich ganz geschwunden ist, sieht man auf schwach erleuchtetem Grunde noch längere Zeit ein graues oder grüngraues negatives Nachbild, und der hellere Grund, der es umgiebt und der den nicht ermüdeten Stellen des Auges entspricht, erscheint dann rosaroth.

Zur Erklärung dieser Erscheinungen hat PLATEAU die Annahme gemacht, dafs die Dauer der einzelnen Stadien der Nachbilder für die verschiedenen Farben verschieden sei, und er suchte dies durch die im vorigen Paragraphen erwähnten Versuche auch direct zu erweisen. Um eine vollständige Erklärung zu geben, müfsten wir nicht blos den Verlauf der nachbleibenden Reizung, sondern auch den Verlauf der Ermüdung vollständig kennen. Indessen läfst sich doch einiges aus ihnen schliefsen. Im ganz dunkeln Gesichtsfelde sind nämlich die ersten hellsten Stadien der Erscheinung ziemlich unabhängig von dem Grade der Ermüdung, weil diese erst in Betracht kommt, sobald die Helligkeit des positiven Nachbildes sich von der des inneren Lichtnebels nicht mehr sehr unterscheidet. Wir können deshalb als wahrscheinlich annehmen, dafs die grünblaue, blaue und rosarothe Phase nur von der nachbleibenden Reizung bedingt sind, während bei der gelben und grünen, in denen sich das negative Nachbild ausbildet, auch die Ermüdung in Betracht kommt. Wir müssen daraus schliefsen, dafs die nachbleibende Reizung für die drei Farben Roth, Grün, Violett in der Weise abnimmt, wie die nebenstehende *Fig. 193* es darstellt. Darin bedeuten die horizontalen Abscissen die Zeit, die verticalen Ordinaten der Curven die Intensität der Reizung. Die ausgezogene Linie entspricht dem Grün, die punktirte dem Violett, die gestrichelte dem Roth. Die positive Nachwirkung

nimmt für alle Farben continuirlich ab, aber so, dafs die Abnahme des Roth im Anfang die schnellste, nachher die langsamste ist, die des Grün anfangs die langsamste, nachher die schnellste. Bei den dargestellten Gröfsen der Farben- 373 empfindung wird in der Zeit von 0 bis 1 Blaugrün überwiegen, bei 1 Blau, bei 2 Violett, bei 3 Purpur, welcher allmälig sich mehr in das Rothe zieht. Nun mischt sich in Wirklichkeit aber die Ermüdung ein, welche in dem weifslichen inneren Lichtnebel ein grünliches Nachbild entwickelt, so dafs also die Ermüdung für Grün, dessen nachbleibende Erregung am schnellsten geschwunden ist, schliefslich am geringsten zu sein scheint. Dieses grüne negative Bild, mit positivem Roth gemischt, wird ein Gelb geben, welches je nach der gröfseren Stärke des einen oder anderen heller oder dunkler, als der Grund erscheinen kann, und zuletzt in Grün übergeht, wenn auch das Roth erlischt. Bei Plateau's Versuchen über die Dauer der Farbeneindrücke stellte sich dasselbe Gesetz der Abnahme heraus, dafs diejenigen Eindrücke, welche im Anfang am schnellsten abnahmen, schliefslich am längsten in schwachen Resten dauerten. Ganz anders gestaltet sich die Reihe der Farbenerscheinungen, wenn die Ermüdung gröfser geworden ist, wie es nach längerer Einwirkung weifsen Lichts, oder nach Einwirkung sehr intensiven Lichtes stattfindet. Bei längerer Einwirkung weifsen Lichtes zeigt sich nach Fechner's Beobachtungen der Einflufs der Ermüdung schon während der Betrachtung des Weifs dadurch, dafs dieses farbig wird. Nachdem er die Augen eine Zeit lang geschlossen gehalten hatte, um die Nachwirkung früherer Eindrücke zu beseitigen, richtete er dieselben auf ein weifses im Sonnenschein auf schwarzem Papier liegendes Feld. In den ersten Momenten liefs sich wegen einer Art von Blendung kein sicheres Urtheil über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einer Farbe fällen; eine solche scheint sich in der That erst nach einiger Zeit zu entwickeln. Bald nämlich färbt sich das Papier entschieden **gelb**, dann **blaugrau** oder **blau**, ohne dafs bei oftmaligen Versuchen eine Übergangsstufe durch Grün wahrzunehmen gewesen wäre, dann **rothviolett** oder **roth**. Die gelbe Phase ist die kürzeste; die blaue dauert oft ziemlich lange, ehe sie in die folgende übergeht. Nach der rothen oder rothvioletten konnte er keine weitere wahrnehmen, obgleich er den Versuch bis zu grofser Anstrengung des Auges fortsetzte. Auch im verbreiteten Tageslichte nahm er die angegebene Folge der Färbungen oft wahr, obschon einmal mit gröfserer Entschiedenheit als das andere Mal: die beiden letzten Färbungen erkannte er hier in der Regel leichter als die erste gelbe. Fechner stellt die Erscheinungen durch drei Curven, aber mit

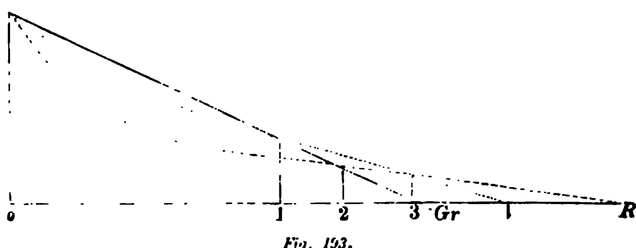


*Fig. 193.*

anderen Grundflächen vor, ähnlich denen der *Fig 194*, wo wieder die horizontalen Abscissen der Zeit proportional sind, die verticalen der Erregungsstärke der Netzhaut bei dauernder Betrachtung einer weifsen Fläche. Die ausgezogene Curve entspricht dem Grün, die gestrichelte dem Roth, die punktirte dem Violett. In der Zeit von 0 bis 1 würde die Farbe gelbgrün, zur Zeit 1 weifslich grün, bei 2 weifslich blau, bei 3 violett, später rosaroth sein.

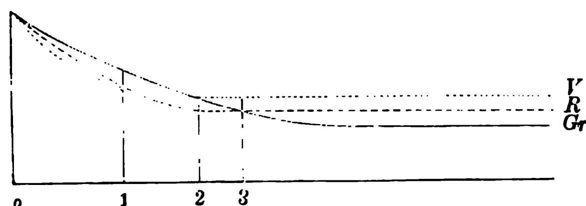


*Fig. 194.*

Nach längerer und stärkerer Einwirkung primären weifsen Lichts zeigt das Nachbild auf ganz dunklem Grunde folgende Farbenreihe: Weifs, Blau,
374 Grün, Roth, Blau und auf weifsem Grunde schliefslich noch blaugrün und gelb. Beim Roth wird das Bild negativ. Seguin schaltet in seiner Beschreibung einige Zwischenstufen mehr ein. Die Farben der ersten Reihe sind ihm Weifs, Grün, Blau, die der zweiten (negativen) Gelb, Roth, Violett, Blau, Grün. Wenn die Einwirkung des weifsen Lichts eine gewisse Zeit überdauert hat, ist diese Farbenreihe constant und wird durch längere Einwirkung nicht weiter geändert. Bei einer kürzeren, aber doch nicht blos momentanen Dauer der primären Lichtwirkung, wo das primäre Weifs sich deutlich gelb gefärbt hatte, war die Farbenfolge Gelb, Blau, Rothgelb, dann wurde es negativ grün. Brücke giebt an: Grün, Blau, Roth, dann negativ ohne deutliche Farbe. Die blaue Phase scheint also immer die erste Änderung des primären Lichteindrucks zu sein, dann folgt eine rosenrothe, rothgelbe bis grüne positive Phase, je nach der Dauer des primären Eindrucks.

Auch bei diesen farbigen Nachbildern bestätigt sich die Regel, dafs Erhellung des Grundes durch weifses Licht die späteren Phasen des Nachbildes herbeiführt, während Verminderung des reagirenden Lichtes das Nachbild wieder auf frühere Phasen zurücktreten läfst. So oft ich Nachbilder beobachtet habe von gleichmäfsig erleuchteten Flächen, für deren Umrisse mein Auge gut accommodirt war, habe ich die Farbenveränderungen des Nachbildes entweder auf der ganzen Fläche gleichzeitig, oder auch wohl unregelmäfsig von dieser oder jener Seite vorschreitend gesehen. Dagegen ist es nach dem Anblicke der Sonne oder ähnlicher blendender Objecte gewöhnlich, dafs die Farbenveränderungen des Bildes vom Rande nach der Mitte hin vorschreiten. Aufser den Unregelmäfsigkeiten der Brechung, welche für hellere Objecte immer gröfsere Mengen Licht in die Nachbarschaft des Bildes verbreiten, kommt hier auch wohl in Betracht, dafs bei schmerzhafter Blendung des Auges es fast unmöglich wird, die Accommodation und Richtung des Auges festzuhalten. Die Folge davon ist, dafs die der Mitte des Sonnenbildes entsprechende Stelle der Retina anhaltender und intensiver

der Lichtwirkung unterworfen wird, als die dem Rande jenes Bildes näheren. An den Sonnenkörper selbst schliefst sich ringsum der Widerschein des in der Atmosphäre und im Auge selbst diffus zerstreuten Lichts. Wenn man das im Dunkel ausgeruhte Auge plötzlich für einen Augenblick nach der Sonne blicken läfst, so erkennt man in der blendenden Lichtfläche kaum die Umrisse des Sonnenkörpers. So hat man denn in diesen Fällen immer eine vom Centrum nach der Peripherie hin allmälig abnehmende Lichtwirkung, und der entspricht im Nachbilde ein verschiedener Verlauf der einzelnen Phasen. Je intensiver die Wirkung, desto langsamer verlaufen im Ganzen die einzelnen Phasen, so dafs man am Rande des Nachbildes meist die früheren Stadien sieht, welche allmälig gegen das Centrum vorrücken. Aufserdem ist die Reihenfolge der Farben in den peripherischen Theilen wegen der geringeren Ermüdung meist etwas abweichend von der in der Mitte. Das Nachbild hat in seinen ersten Stadien dieser Erklärung entsprechend einen gröfseren Umfang als die scheinbare Gröfse der Sonne beträgt, und man verfällt leicht in den Fehler, das ganze Nachbild für das Bild der Sonnenscheibe allein zu halten, und zu glauben, dafs die verschiedenen farbigen Ringe, die sich darin entwickeln, dieser selbst angehören, während sie in Wirklichkeit ihrer Umgebung entsprechen. Um das Nachbild 375
der Sonne möglichst regelmäfsig zu entwickeln, nehme ich ein sehr dunkel gefärbtes Glas (oder ein berufstes Glas oder mehrere complementär gefärbte Gläser über einander gelegt), sehe damit nach der Sonne hin, welche durch das Glas nur noch als eine schwach sichtbare Lichtscheibe erscheinen mufs. Dann nehme ich das Glas für einen Moment weg, und schliefse sogleich die Augen. So werden dieselben verhältnifsmäfsig wenig angegriffen, und haben wenig Zeit, ihre Stellung zu verändern, während doch das Nachbild sich sehr glänzend entwickelt. Unter diesen Umständen finde ich auch im Nachbilde meist einen Kern, welcher in seiner ganzen Ausbreitung eine gleichmäfsige Färbung hat, und ziemlich die Gröfse der scheinbaren Sonnenscheibe besitzt, so dafs man die Abweichungen, welche am Rande vorkommen, den Fehlern der Brechung im Auge zuschreiben kann.

Man sieht unter diesen Umständen in der Umgebung des Sonnenbildes schnell die Phasen des Nachbildes verlaufen, welche weifse Gegenstände nach momentanem Anblick geben. Positives Blau, Rosaroth, welches durch Gelb in negatives Dunkelgrün übergeht, während das Bild der Sonne selbst in dieser *ersten Phase* als ein verwaschener, nicht regelmäfsig runder *weifser* Fleck erscheint, der ungefähr zu der Zeit, wo der Grund rosenroth geworden ist, in die *zweite Phase* tritt, und sich *hellblau* färbt. Die zweite geht meist schnell in die dritte Phase über, indem das Blau zuerst am Rande, dann auch in der Mitte grün wird, während am Rande ein rothgelber Saum entsteht, der dunkler als die Umgebung ist, und an dessen aufserem Rande sich dann auch wohl schon in dieser Phase ein noch dunklerer blaugrauer Saum abzeichnet. Richtet man die Augen während dieser Phase auf ein weifses Feld, so verwandelt sich das positive Grün durch Violett in das negative Blutroth der folgenden Phase.

Die *vierte Phase* entsteht, indem das Roth des Saumes sich über die Mitte des Bildes verbreitet. Der blaugraue Saum wird dafür breiter und dunkler. Das ganze Nachbild ist jetzt dunkler als die Umgebung. Letztere erscheint im Gegensatz dazu weifslich oder grünlich. Es ist dies das letzte negative Grün vom Bilde der Himmelsfläche. Die etwa vorhandenen Nachbilder der Fensterstäbe erscheinen darin hell. Blickt man in dieser Phase auf weifsen Grund, so geht das Roth in Grünblau über.

In der *fünften Phase* endlich nimmt das ganze Nachbild die blaue Farbe des bisherigen Saumes an, und verschwindet im dunkeln Felde meist in diesem Stadium des Blau, während es auf weifsem Felde grünblau erscheint.

Diesen von Fechner aufgestellten Phasen möchte ich noch eine *sechste* anschliefsen, wo man im dunkeln Felde vom Nachbilde nichts mehr erkennt, wohl aber auf weifsem Felde noch einen gelben oder bräunlichen Schein sieht. Endlich nach ziemlich langer Zeit schwindet auch dieser. Hat man während dieser Zeit, und selbst noch später, wo der gelbe Schein geschwunden ist, auf Weifs gesehen, und schliefst plötzlich die Augen, so tritt noch wieder ein schwaches positives bläuliches Nachbild auf, welches schnell wieder schwindet. Öffnet man dann die Augen, indem man sie auf Weifs richtet, so sieht man im ersten Augenblick noch wieder das gelbe Nachbild. Die
376 Erklärung dieser Erscheinung scheint mir in dem schon erwähnten Umstande zu suchen, dafs in einem ermüdeten Nerven die neue Reizung langsamer verschwindet, als in den umgebenden unermüdeten Theilen der Netzhaut.

Es scheint übrigens der Verlauf dieser Nachbilder intensiven Lichts bei verschiedenen Personen nicht wesentlich verschieden zu sein, wenn sie unter denselben Umständen entwickelt werden; wenigstens stimmen in dieser Beziehung meine eigenen Beobachtungen, so weit sie reichen, mit Fechner's und Seguin's überein.

Bei dieser complicirteren Farbenfolge dürfen wir vermuthen, dafs durch die stattfindende Ermüdung die Zeit, in der die Eindrücke der einzelnen Farben in der Netzhaut schwinden, so wie auch die Perception des inneren Lichtnebels geändert sei, und da wir weder diese Verhältnisse genau genug kennen, noch wissen, wie die Ermüdung selbst bei verschiedenen Graden derselben für die einzelnen Farbenempfindungen verschwindet, so ist eine vollständige Erklärung der einzelnen Stadien dieses farbigen Abklingens nicht möglich. Um sie zu geben, würde zuerst der Verlauf der Ermüdung und ihr Einflufs auf den Verlauf der Erregung für die einzelnen reineren Farbeneindrücke bestimmt und verglichen werden müssen.

Wenn wir das *Abklingen des Nachbildes nach Eindrücken gesättigter Farben* genau beobachten, ist die Erscheinung allerdings sehr viel einfacher, aber es fehlen Farbenveränderungen doch nicht ganz. Die Hauptzüge der Erscheinung sind schon vorher angegeben worden. Es erscheint zuerst ein positives dem primären Lichte gleich gefärbtes, später ein negatives complementäres Bild. Der Übergang von positiv zu negativ geschieht

nun aber nach lebhafteren Lichteindrücken in der Regel nicht so, dafs das eine Bild einfach erblafst, und dann das andere sichtbar würde, sondern in diesem Übergangsstadium verändert sich die Farbe durch weifsliche Farbentöne hindurch. Hat man nur eine primäre Farbe im Gesichtsfelde gehabt, so erscheinen die Farben des abklingenden Bildes noch immer ziemlich gesättigt, und sind von mehreren Beobachtern als gesättigte Farben angegeben worden, weil es im dunkeln Gesichtsfelde an einem Vergleichungspunkte fehlt. Wenn man aber an dem nur momentan gesehenen primären Objecte verschiedene Farben von ungefähr gleicher Helligkeit vor sich hatte, so sieht man, dafs die Nachbilder im Übergangsstadium von positiv zu negativ viel geringere Farbenunterschiede zeigen, als die ursprünglichen Farben, indem sie alle stark gemischt sind mit dem rosarothen oder gelblichen Weifs, welches auch die Nachbilder momentan gesehener weifser Objecte zeigen. In dieser Beziehung ist namentlich das Nachbild eines momentan angeschauten prismatischen Spectrum interessant. Nachdem noch einige Secunden die primären Farben im Nachbilde sichtbar gewesen sind, und die lichtschwachen äufsersten Farben sich ganz verdunkelt haben, verwandelt sich das ganze Nachbild in einen röthlich weifsen Fleck von der Gestalt des Spectrum, in welchem Farbenunterschiede kaum noch angedeutet sind, nur zieht das frühere Gelb und Orange etwas in das Bläuliche, woran sich an der Stelle des früheren Roth dessen, schon negativ gewordenes grünblaues Nachbild anschliefst. Um mich über den Ort der früheren Farben im Nachbilde orientiren zu können, mufste ich auf dem weifsen Schirm, auf den das 377
Spectrum projicirt war, einen schwarzen Strich machen, der parallel den Farbenstreifen das Spectrum schnitt, und im Nachbilde sichtbar blieb. So erkannte ich, dafs das röthlich weifse Nachbild der ganzen Ausdehnung des Spectrum vom Orange bis Indigo entspricht. Dasselbe Resultat gewinnt man, wenn man farbige Papiere von nahe gleicher Helligkeit von der Sonne bescheinen läfst, und durch momentanes Anschauen ein Nachbild entwickelt.

Es geht hieraus hervor, dafs im positiven Nachbilde gefärbter Objecte nach momentanem Anblicke zuerst die vorherrschende Farbe schwindet, und damit das Nachbild dem eines weifsen Objects ähnlich wird, wobei namentlich gewöhnlich die rosenrothe Phase eines solchen hervortritt. Dann entwickelt sich allmälig die Complementärfarbe des negativen Nachbildes, aber sie kann schon sichtbar werden, noch ehe das positive Bild negativ geworden ist, sie kann also heller erscheinen als der dunkle Grund. Ich glaube das Hervortreten der Complementärfarbe darauf zurückführen zu können, dafs sich zu dieser Zeit das schwach und weifs gewordene positive Bild deckt mit dem durch die Ermüdung des Auges in dem inneren Lichtnebel entstehenden negativen und complementären Bilde. Es ist klar, dafs durch eine solche Deckung z. B. nach Anblick von Roth positives Weifs und negatives Blaugrün zusammen ein grünlich weifses positives Bild geben können. Diese positiv complementären Bilder sind von mehreren Beobachtern[1] er-

[1] PURKINJE, Zur Physiologie der Sinne. II. 110. 1825. — FECHNER, [illegible] L. 213. 1840. BRÜCKE, Untersuchungen über subjective Farben, *Denkschr. d. [illegible] zu W[illegible]* Bd. III. S. 12. 1850.

$$\xi' = \xi \cdot e^{-kxt}.$$

Ebenso

$$\eta' = \eta \cdot e^{-kyt}$$

$$\zeta' = \zeta \cdot e^{-kzt}.$$

Diese Gleichungen drücken aus, dafs diese Erregungen mit der Zeit um so schneller abnehmen, je stärker die Intensität der ermüdenden Farbe.

Daraus folgt

$$\frac{\xi'}{\eta'} = \frac{\xi}{\eta} \cdot e^{-k(x-y)t}.$$

Ist also im ermüdenden Licht $x$ stärker vertreten als $y$, so wird $\frac{\xi'}{\eta'}$ mit steigender Ermüdung kleiner als $\frac{\xi}{\eta}$. Ebenso ist, wenn $y > z$ das $\frac{\eta'}{\zeta'} < \frac{\eta}{\zeta}$, d. h. der Farbenton des Nachbildes ändert sich so, dafs das $\xi$ am meisten zurücktritt, $\eta$ weniger, $\zeta$ am wenigsten. Zurücktreten der überwiegenden Farbe $x$ nähert das Nachbild im Farbenton deren Complementärfarbe, wozu sich dann noch die complementäre Färbung des Eigenlichts der Netzhaut gesellt.

Gäbe es Spectralfarben, die nur einer oder zweien Grundfarben entsprächen, in denen also $z = 0$ oder $y = z = 0$ wäre, so würde für diese keine Ermüdung eintreten und deren Nachbild würde sich der Complementärfarbe dieser Farben nicht nähern können, und die letztere nun aus dem Eigenlicht herstammen können. Dann wäre der Einwurf von Hess berechtigt.

368 Von besonderem Interesse sind die Fälle, wo die Farbe des Objects der des Grundes gleich oder complementär ist. Um Beobachtungen über den ersteren Fall zu machen, thut man am besten, ein schwarzes Object auf einen farbigen Grund zu legen, und nachdem man einen Punkt seines Randes eine Weile fixirt hat, es plötzlich hinwegzuziehen. Unter diesen Umständen ist der neben dem Schwarz sichtbare Theil des Grundes als das primäre farbige Object zu betrachten, der ganze farbige Grund nach Entfernung des schwarzen Objects als das reagirende Licht. Man sieht alsdann ein helles Nachbild des schwarzen Objects, in welchem die Farbe des Grundes nicht blos lichtstärker, sondern auch gesättigter ist, als im Rest des Grundes, so dafs sie auf dem letzteren mit vielem Grau gemischt zu sein scheint. Bei einiger Aufmerksamkeit erkennt man das Dunkel- und Grauwerden des farbigen Grundes auch wohl, ehe man das schwarze Object wegnimmt. Recht auffallend wird es im letzteren Momente, weil nun an dieser Stelle die Farbe in der Weise sichtbar wird, wie sie im ersten Augenblicke des Beschauens dem unermüdeten Auge erscheint. Dieses Grauwerden des Grundes findet sich nicht blos bei gemischten weifslichen Farben, bei welchen es so stark werden kann, dafs der Farbenton des Grundes ganz verschwindet, sondern selbst bei den homogenen Farben des Spectrum und gewisser farbiger Gläser, nachdem man auf das Sorgfältigste alles fremde

weifse Licht ausgeschlossen hat. Wenn man z. B. ein mit Kupferoxydul roth gefärbtes Glas, welches nur rothe Strahlen hindurchläfst, vor die Augen nimmt, den Kopf und die Ränder des Glases mit einem dunkeln Tuche umhüllt, so dafs nur rothes Licht zu den Augen dringen kann, dann durch das Glas nach einer weifsen Fläche sieht und vor diese ein schwarzes Object bringt, welches man plötzlich entfernt, so sieht man den Gegensatz zwischen dem rothgrauen Grunde und dem gesättigten Roth des Nachbildes ganz deutlich. Die Erklärung dieser Erscheinung liegt offenbar darin, dafs während des Anschauens der rothen Farbe des Grundes die betreffenden Theile der Netzhaut für Roth ermüden und es deshalb schwächer empfinden, als die unermüdeten Theile, auf welche das Bild des schwarzen Objects gefallen war. Ist das Roth auch noch mit Weifs gemischt, so nimmt die Empfindlichkeit für das Roth in einem stärkeren Verhältnisse ab, als für die übrigen Farben, die in dem beigemischten Weifs enthalten sind, und die Farbe mufs deshalb durch die Ermüdung der Netzhaut verhältnifsmäfsig weifslicher werden; da sie aber auch gleichzeitig lichtschwächer wird, erscheint sie grau. Dasselbe geschieht nun aber nicht blos mit weifslichem Roth, sondern auch mit ganz reinem Roth. und hier wird man die Erklärung theils von dem Lichtnebel des n
dunkeln Gesichtsfeldes, theils von der gemischten Natur der Eindrücke sämmtlicher Spectralfarben herleiten müssen.

Wenn die primäre Farbe complementär zu der reagirenden Farbe des 369
Grundes ist, so erscheint die letztere in der Ausdehnung des Nachbildes gesättigter als auf den nicht ermüdeten oder durch die Farbe des Grundes ermüdeten Theilen der Netzhaut. Wenn man auf einen rothen Grund ein blaugrünes Object legt, und nachdem man es eine Weile fixirt hat, es wegzieht, so erscheint ein gesättigt rothes Nachbild, ähnlich als hätte man ein schwarzes Object weggenommen. Man kann sich aber leicht überzeugen, dafs die Farbe im Nachbilde eines complementären Objects noch gesättigter ist, als im Nachbilde eines schwarzen Körpers. Am einfachsten ist es, sich ein Object zu verfertigen, von dem ein Theil schwarz, ein anderer farbig, z. B. blaugrün ist, dies auf einen complementären (rothen) Grund zu legen, und einen Punkt des Grundes dicht an der Grenze des Schwarz und Blaugrün zu fixiren. Nimmt man das Object dann weg, so erscheint in dem ganzen Nachbild die Farbe des Grundes klarer als in dem vorher unbedeckten Theile des Grundes. Das Nachbild des Blaugrün ist etwas dunkler als das des Schwarz, aber es ist nicht das Roth, welches dort lichtschwacher wäre, vielmehr erscheint das Roth im Nachbilde des Schwarz wie von einem weifslichen Nebel übergossen, welcher im Nachbilde des Blaugrün das Roth frei läfst. Es erscheint also das Nachbild des Roth auf Roth grauroth, des Schwarz auf Roth weifsroth, des Blaugrün auf Roth gesättigt roth. Man sieht diese Unterschiede sehr gut, wenn man bei diesen Versuch alle drei Nuancen neben einander hat.

Setzt man voraus, dafs das Roth des Grundes noch Weifs enthält, so 370

erklärt sich der Erfolg leicht. Schwarz ermüdet das Auge gar nicht, es empfindet im Nachbilde unverändert das weifsliche Roth des Grundes. Roth ermüdet das Auge für Roth, es empfindet im Nachbilde das Roth schwächer, die übrigen Bestandtheile des Weifs ziemlich ungeschwächt, die Empfindung ist die von lichtschwachem weifslichen Roth (Grauroth). Das Blaugrün macht dagegen das Auge unempfindlicher für die dem Roth fremdartigen Theile in dem Lichte des Grundes, und läfst also das Roth im Nachbilde freier von fremden Beimengungen heraustreten.

Dieselben Versuche gelingen nun aber ebenso gut mit reinen Spectralfarben. Ich habe im Felde eines Fernrohrs mir einzelne Theile des Spectrum hergestellt mit allen Vorsichtsmafsregeln, welche nöthig sind, um die letzten Reste weifsen Lichts zu entfernen. Der Grund war so tiefschwarz, dafs man die Blendung des Fernrohrs auf ihm nicht mehr erkennen konnte, vielmehr die wolkigen Figuren des inneren Lichtnebels auf ihm sah. Das Auge wurde von keinem anderen Lichte, als dem eines kleinen Theils des Spectrum getroffen. Auf dieses farbige Feld warf ich nun Nachbilder von complementären Spectralfarben. Zu dem Ende war vor das Ocular unter 45° ein kleines bewegliches Stahlspiegelchen gestellt, in welchem man gespiegelt einen passend abgeblendeten Theil eines anderen, sehr hellen Spectrum sah, durch eine kreisförmige Blendung abgegrenzt. Für dieses zweite Spectrum ist ein so hoher Grad von Reinheit nicht erforderlich. Die Anordnungen waren so getroffen, dafs der ganze Kreis in der gleichen Farbe erschien. Sobald man das Spiegelchen vor dem Ocular fortzog, sah der Beobachter statt des bisher durch Reflexion gesehenen Kreises durch das Fernrohr auf das reine Spectrum. Auf diesem erschien das Nachbild des farbigen Kreises. Es traten hier genau dieselben Erfolge ein, wie bei den ähnlichen Versuchen mit Pigmentfarben. Namentlich erschien das Nachbild der Complementärfarben als eine gesättigtere Farbe im Vergleich mit der Farbe des Grundes. Der letztere schien wieder mit einem weifslichen Lichtnebel bedeckt zu sein, welcher an der Stelle des Nachbildes gleichsam fortgenommen war, und die Farbe des Grundes in ihrer gröfsten Reinheit hervortreten liefs. Aus diesen Versuchen geht unabhängig von den Gründen, die uns die Untersuchung der Farbenempfindlichkeit in § 21 geliefert hat, die wichtige Folgerung hervor, dafs *die gesättigtesten objectiven Farben, welche existiren, die reinen Spectralfarben, im unermüdeten Auge noch nicht die gesättigteste Farbenempfindung hervorrufen, welche überhaupt möglich ist*, sondern dafs wir diese erst erreichen, wenn wir das Auge gegen die Complementärfarbe unempfindlich machen.

Auch in diesem Falle könnte man glauben, dafs der weifsliche Schein, welcher den Grund überzieht, der innere Lichtnebel sei, dessen störende Theile im Nachbilde entfernt seien. In der That sieht man, wenn man das Auge auf den dunkeln Grund neben dem Spectrum richtet, ein complementär gefärbtes Nachbild. Auch in diesem Falle halte ich diese Erklärung für ungenügend, weil die Erscheinung auf sehr hellen Spectralfarben zu sehen

ist, gegen welche die scheinbare Helligkeit des Lichtnebels doch wohl zu klein erscheint. Folgen wir dagegen der Annahme von TH. YOUNG, so würden wir hier die reinen Farbenempfindungen der einzelnen Nervenarten vor uns haben, gegen welche die Spectralfarben immer noch weifslich er- 371
scheinen müssen, weil nach der nothwendigen Modification jener Annahme jede einzelne Art homogenen Lichts nicht blos eine einzige Art von Nervenfasern ausschliefslich erregen kann.

Alle diese Versuche über Nachbilder farbiger Objecte auf farbigem Grunde kann man nun auch so anstellen, dafs man den Fixationspunkt wechselt, oder das Object dem Auge nähert und wieder davon entfernt, wie dies vorher für weifse Objecte beschrieben ist. Hat man zum Beispiel eine blaue Scheibe auf gelbem Grunde eine Weile so betrachtet, dafs man einen Punkt derselben fixirte, und wechselt nun den Fixationspunkt, so fällt das Nachbild der blauen Scheibe zum Theil auf den Grund, zum Theil auf die Scheibe; ebenso das Nachbild des Grundes. Wo das Nachbild der Scheibe auf den Grund fällt, erscheint das Gelb gesättigter, ebenso das Blau, wo das Nachbild des Grundes auf die Scheibe fällt. Dagegen erscheint das Blau und Gelb mit Grau gemischt, wo das Nachbild der Scheibe auf die Scheibe, und das Nachbild des Grundes auf den Grund fällt. Der Erfolg der übrigen Abänderungen dieser Versuche läfst sich leicht übersehen. Zuweilen mischen sich auch Contrasterscheinungen ein. Hat man ein weifses Papierschnitzelchen auf rothem Grunde fixirt, und wirft dann das Nachbild auf Weifs, so ist das Nachbild des rothen Grundes blaugrün, das des kleinen weifsen Feldes roth durch Contrast zu jenem Grün, wie sich im nächsten Paragraphen zeigen wird. Am besten legt man zu dem Ende das farbige Papier auf ein weifses Blatt, auf das farbige dann ein weifses Schnitzelchen, welches man mit einer Pincette festhält, während man das farbige Blatt wegzieht. Schwach erscheint eine solche Contrastfärbung auch um das Nachbild eines farbigen Quadrats auf weifsem Grunde.

Aber nicht nur farbige, sondern auch weifse Objecte geben farbige Nachbilder, in denen die Farben gewöhnlich mannigfach wechseln. Man bezeichnet diese Erscheinungen gewöhnlich als das **farbige Abklingen** der Nachbilder. Die Reihenfolge der Farben ist dabei verschieden, je nach der Dauer und der Intensität des primären Eindrucks. Die Farbenfolge nach momentaner Anschauung finde ich übereinstimmend mit FECHNER[1] und SEGUIN.[2] Das ursprüngliche Weifs geht schnell durch grünliches Blau (SEGUIN Grün) in schönes Indigblau, später in Violett oder Rosenroth über. Diese Farben sind hell und klar. Dann folgt ein schmutziges oder graues Orange, während dessen sich das positive Nachbild meist schon in ein negatives verwandelt, und im negativen Bilde wird dieses Orange oft noch ein schmutziges Gelbgrün. Nach sehr kurzer Einwirkung des primären Lichts ist meist das Orange die letzte Farbe, und das Bild schwindet, ehe es ne-

[1] FECHNER, [illegible] Ann. L. 220. 1840.
[2] SEGUIN, [illegible] 3. Sér. XLI. [illegible] 18[illegible]

gativ wird. Dieselbe Farbenfolge fand auch Aubert nach der Betrachtung des etwas bläulich gefärbten Entladungsfunkens einer Leydener Flasche, nur war das Orange auf dunklem Grunde nicht deutlich erkennbar, auf weifsem dagegen sowohl diese Farbe als das folgende Grün sehr deutlich. Umgeben ist das Bild von einem gelben Hofe, wohl dem negativen Nachbilde des durch unregelmäfsige Brechung im Auge zerstreuten bläulichen Lichts.

372 Die bisher beschriebenen Erscheinungen beziehen sich auf den Verlauf des Nachbildes im ganz dunkeln Felde. Wenn es dabei überhaupt zur Bildung negativer Nachbilder kommt, so erscheinen diese nur in das Eigenlicht des dunkeln Feldes dunkel eingezeichnet. Wenn man nun während des Bestehens eines solchen Nachbildes allmälig reagirendes Licht zuläfst, indem man die Hände, oder ein dunkles Tuch, mit dem man die Augen bedeckt hat, langsam hinwegzieht, so beobachtet man im Allgemeinen, dafs das Nachbild dabei in die späteren Stadien seiner Farbenentwickelung übergeht und wieder zurückschreitet, wenn man das reagirende Licht wieder schwächer macht. Läfst man z. B. Licht hinzutreten, während das Bild im absoluten Dunkel blau ist, so geht es durch Rosaroth in ein negatives gelbes Bild über. Deckt man schnell genug wieder zu, so findet man das Blau wieder. Ist das Bild im absoluten Dunkel rosaroth, so wird es durch schwaches Licht gelbroth u. s. w. Wenn das positive Nachbild im dunkeln Gesichtsfelde schliefslich ganz geschwunden ist, sieht man auf schwach erleuchtetem Grunde noch längere Zeit ein graues oder grüngraues negatives Nachbild, und der hellere Grund, der es umgiebt und der den nicht ermüdeten Stellen des Auges entspricht, erscheint dann rosaroth.

Zur Erklärung dieser Erscheinungen hat Plateau die Annahme gemacht, dafs die Dauer der einzelnen Stadien der Nachbilder für die verschiedenen Farben verschieden sei, und er suchte dies durch die im vorigen Paragraphen erwähnten Versuche auch direct zu erweisen. Um eine vollständige Erklärung zu geben, müfsten wir nicht blos den Verlauf der nachbleibenden Reizung, sondern auch den Verlauf der Ermüdung vollständig kennen. Indessen läfst sich doch einiges aus ihnen schliefsen. Im ganz dunkeln Gesichtsfelde sind nämlich die ersten hellsten Stadien der Erscheinung ziemlich unabhängig von dem Grade der Ermüdung, weil diese erst in Betracht kommt, sobald die Helligkeit des positiven Nachbildes sich von der des inneren Lichtnebels nicht mehr sehr unterscheidet. Wir können deshalb als wahrscheinlich annehmen, dafs die grünblaue, blaue und rosarothe Phase nur von der nachbleibenden Reizung bedingt sind, während bei der gelben und grünen, in denen sich das negative Nachbild ausbildet, auch die Ermüdung in Betracht kommt. Wir müssen daraus schliefsen, dafs die nachbleibende Reizung für die drei Farben Roth, Grün, Violett in der Weise abnimmt, wie die nebenstehende *Fig. 193* es darstellt. Darin bedeuten die horizontalen Abscissen die Zeit, die verticalen Ordinaten der Curven die Intensität der Reizung. Die ausgezogene Linie entspricht dem Grün, die punktirte dem Violett, die gestrichelte dem Roth. Die positive Nachwirkung

nimmt für alle Farben continuirlich ab, aber so, dafs die Abnahme des Roth im Anfang die schnellste, nachher die langsamste ist, die des Grün
anfangs die langsamste,
nachher die schnellste.
Bei den dargestellten
Gröfsen der Farben- 373
empfindung wird in der
Zeit von 0 bis 1 Blaugrün überwiegen, bei 1 Blau, bei 2 Violett, bei 3 Purpur, welcher allmälig sich mehr in das Rothe zieht. Nun mischt sich in Wirklichkeit aber die Ermüdung ein, welche in dem weifslichen inneren Lichtnebel ein grünliches Nachbild entwickelt, so dafs also die Ermüdung für Grün, dessen nachbleibende Erregung am schnellsten geschwunden ist, schliefslich am geringsten zu sein scheint. Dieses grüne negative Bild, mit positivem Roth gemischt, wird ein Gelb geben, welches je nach der gröfseren Stärke des einen oder anderen heller oder dunkler, als der Grund erscheinen kann, und zuletzt in Grün übergeht, wenn auch das Roth erlischt. Bei PLATEAU's Versuchen über die Dauer der Farbeneindrücke stellte sich dasselbe Gesetz der Abnahme heraus, dafs diejenigen Eindrücke, welche im Anfang am schnellsten abnahmen, schliefslich am längsten in schwachen Resten dauerten. Ganz anders gestaltet sich die Reihe der Farbenerscheinungen, wenn die Ermüdung gröfser geworden ist, wie es nach längerer Einwirkung weifsen Lichts, oder nach Einwirkung sehr intensiven Lichtes stattfindet. Bei längerer Einwirkung weifsen Lichtes zeigt sich nach FECHNER's Beobachtungen der Einflufs der Ermüdung schon während der Betrachtung des Weifs dadurch, dafs dieses farbig wird. Nachdem er die Augen eine Zeit lang geschlossen gehalten hatte, um die Nachwirkung früherer Eindrücke zu beseitigen, richtete er dieselben auf ein weifses im Sonnenschein auf schwarzem Papier liegendes Feld. In den ersten Momenten liefs sich wegen einer Art von Blendung kein sicheres Urtheil über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einer Farbe fällen; eine solche scheint sich in der That erst nach einiger Zeit zu entwickeln. Bald nämlich färbt sich das Papier entschieden gelb, dann blaugrau oder blau, ohne dafs bei oftmaligen Versuchen eine Übergangsstufe durch Grün wahrzunehmen gewesen wäre, dann rothviolett oder roth. Die gelbe Phase ist die kürzeste; die blaue dauert oft ziemlich lange, ehe sie in die folgende übergeht. Nach der rothen oder rothvioletten konnte er keine weitere wahrnehmen, obgleich er den Versuch bis zu grofser Anstrengung des Auges fortsetzte. Auch im verbreiteten Tageslichte nahm er die angegebene Folge der Färbungen oft wahr, obschon einmal mit gröfserer Entschiedenheit als das andere Mal: die beiden letzten Färbungen erkannte er hier in der Regel leichter als die erste gelbe. FECHNER stellt die Erscheinungen durch drei Curven, aber mit

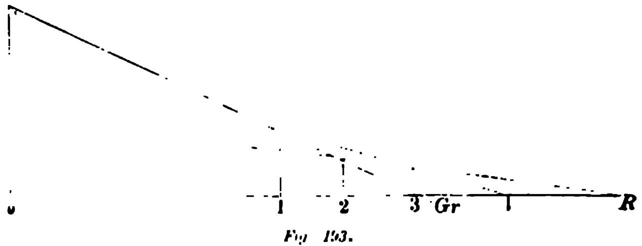


Fig. 193.

anderen Grundflächen vor, ähnlich denen der *Fig 194*, wo wieder die horizontalen Abscissen der Zeit proportional sind, die verticalen der Erregungsstärke der Netzhaut bei dauernder Betrachtung einer weifsen Fläche. Die ausgezogene Curve entspricht dem Grün, die gestrichelte dem Roth, die punktirte dem Violett. In der Zeit von 0 bis 1 würde die Farbe gelbgrün, zur Zeit 1 weifslich grün, bei 2 weifslich blau, bei 3 violett, später rosaroth sein.

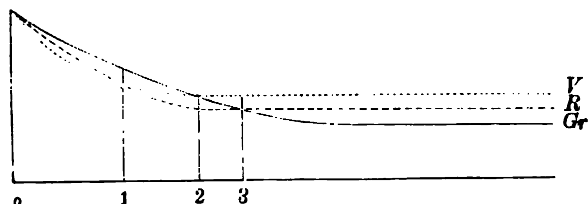


*Fig. 194.*

Nach längerer und stärkerer Einwirkung primären weifsen Lichts zeigt das Nachbild auf ganz dunklem Grunde folgende Farbenreihe: Weifs, Blau,
374 Grün, Roth, Blau und auf weifsem Grunde schliefslich noch blaugrün und gelb. Beim Roth wird das Bild negativ. Seguin schaltet in seiner Beschreibung einige Zwischenstufen mehr ein. Die Farben der ersten Reihe sind ihm Weifs, Grün, Blau, die der zweiten (negativen) Gelb, Roth, Violett, Blau, Grün. Wenn die Einwirkung des weifsen Lichts eine gewisse Zeit überdauert hat, ist diese Farbenreihe constant und wird durch längere Einwirkung nicht weiter geändert. Bei einer kürzeren, aber doch nicht blos momentanen Dauer der primären Lichtwirkung, wo das primäre Weifs sich deutlich gelb gefärbt hatte, war die Farbenfolge Gelb, Blau, Rothgelb, dann wurde es negativ grün. Brücke giebt an: Grün, Blau, Roth, dann negativ ohne deutliche Farbe. Die blaue Phase scheint also immer die erste Änderung des primären Lichteindrucks zu sein, dann folgt eine rosenrothe, rothgelbe bis grüne positive Phase, je nach der Dauer des primären Eindrucks.

Auch bei diesen farbigen Nachbildern bestätigt sich die Regel, dafs Erhellung des Grundes durch weifses Licht die späteren Phasen des Nachbildes herbeiführt, während Verminderung des reagirenden Lichtes das Nachbild wieder auf frühere Phasen zurücktreten läfst. So oft ich Nachbilder beobachtet habe von gleichmäfsig erleuchteten Flächen, für deren Umrisse mein Auge gut accommodirt war, habe ich die Farbenveränderungen des Nachbildes entweder auf der ganzen Fläche gleichzeitig, oder auch wohl unregelmäfsig von dieser oder jener Seite vorschreitend gesehen. Dagegen ist es nach dem Anblicke der Sonne oder ähnlicher blendender Objecte gewöhnlich, dafs die Farbenveränderungen des Bildes vom Rande nach der Mitte hin vorschreiten. Aufser den Unregelmäfsigkeiten der Brechung, welche für hellere Objecte immer gröfsere Mengen Licht in die Nachbarschaft des Bildes verbreiten, kommt hier auch wohl in Betracht, dafs bei schmerzhafter Blendung des Auges es fast unmöglich wird, die Accommodation und Richtung des Auges festzuhalten. Die Folge davon ist, dafs die der Mitte des Sonnenbildes entsprechende Stelle der Retina anhaltender und intensiver

der Lichtwirkung unterworfen wird, als die dem Rande jenes Bildes näheren. An den Sonnenkörper selbst schliefst sich ringsum der Widerschein des in der Atmosphäre und im Auge selbst diffus zerstreuten Lichts. Wenn man das im Dunkel ausgeruhte Auge plötzlich für einen Augenblick nach der Sonne blicken läfst, so erkennt man in der blendenden Lichtfläche kaum die Umrisse des Sonnenkörpers. So hat man denn in diesen Fällen immer eine vom Centrum nach der Peripherie hin allmälig abnehmende Lichtwirkung, und der entspricht im Nachbilde ein verschiedener Verlauf der einzelnen Phasen. Je intensiver die Wirkung, desto langsamer verlaufen im Ganzen die einzelnen Phasen, so dafs man am Rande des Nachbildes meist die früheren Stadien sieht, welche allmälig gegen das Centrum vorrücken. Aufserdem ist die Reihenfolge der Farben in den peripherischen Theilen wegen der geringeren Ermüdung meist etwas abweichend von der in der Mitte. Das Nachbild hat in seinen ersten Stadien dieser Erklärung entsprechend einen gröfseren Umfang als die scheinbare Gröfse der Sonne beträgt, und man verfällt leicht in den Fehler, das ganze Nachbild für das Bild der Sonnenscheibe allein zu halten, und zu glauben, dafs die verschiedenen farbigen Ringe, die sich darin entwickeln, dieser selbst angehören, während sie in Wirklichkeit ihrer Umgebung entsprechen. Um das Nachbild 375
der Sonne möglichst regelmäfsig zu entwickeln, nehme ich ein sehr dunkel gefärbtes Glas (oder ein berufstes Glas oder mehrere complementär gefärbte Gläser über einander gelegt), sehe damit nach der Sonne hin, welche durch das Glas nur noch als eine schwach sichtbare Lichtscheibe erscheinen mufs. Dann nehme ich das Glas für einen Moment weg, und schliefse sogleich die Augen. So werden dieselben verhältnifsmäfsig wenig angegriffen, und haben wenig Zeit, ihre Stellung zu verändern, während doch das Nachbild sich sehr glänzend entwickelt. Unter diesen Umständen finde ich auch im Nachbilde meist einen Kern, welcher in seiner ganzen Ausbreitung eine gleichmäfsige Färbung hat, und ziemlich die Gröfse der scheinbaren Sonnenscheibe besitzt, so dafs man die Abweichungen, welche am Rande vorkommen, den Fehlern der Brechung im Auge zuschreiben kann.

Man sieht unter diesen Umständen in der Umgebung des Sonnenbildes schnell die Phasen des Nachbildes verlaufen, welche weifse Gegenstände nach momentanem Anblick geben. Positives Blau, Rosaroth, welches durch Gelb in negatives Dunkelgrün übergeht, während das Bild der Sonne selbst in dieser *ersten Phase* als ein verwaschener, nicht regelmäfsig runder *weifser* Fleck erscheint, der ungefähr zu der Zeit, wo der Grund rosenroth geworden ist, in die *zweite Phase* tritt, und sich *hellblau* färbt. Die zweite geht meist schnell in die dritte Phase über, indem das Blau zuerst am Rande, dann auch in der Mitte grün wird, während am Rande ein rothgelber Saum entsteht, der dunkler als die Umgebung ist, und an dessen aufserem Rande sich dann auch wohl schon in dieser Phase ein noch dunklerer blaugrauer Saum abzeichnet. Richtet man die Augen während dieser Phase auf ein weifses Feld, so verwandelt sich das positive Grün durch Violett in das negative Blutroth der folgenden Phase.

Die *vierte Phase* entsteht, indem das Roth des Saumes sich über die Mitte des Bildes verbreitet. Der blaugraue Saum wird dafür breiter und dunkler. Das ganze Nachbild ist jetzt dunkler als die Umgebung. Letztere erscheint im Gegensatz dazu weifslich oder grünlich. Es ist dies das letzte negative Grün vom Bilde der Himmelsfläche. Die etwa vorhandenen Nachbilder der Fensterstäbe erscheinen darin hell. Blickt man in dieser Phase auf weifsen Grund, so geht das Roth in Grünblau über.

In der *fünften Phase* endlich nimmt das ganze Nachbild die blaue Farbe des bisherigen Saumes an, und verschwindet im dunkeln Felde meist in diesem Stadium des Blau, während es auf weifsem Felde grünblau erscheint.

Diesen von Fechner aufgestellten Phasen möchte ich noch eine *sechste* anschliefsen, wo man im dunkeln Felde vom Nachbilde nichts mehr erkennt, wohl aber auf weifsem Felde noch einen gelben oder bräunlichen Schein sieht. Endlich nach ziemlich langer Zeit schwindet auch dieser. Hat man während dieser Zeit, und selbst noch später, wo der gelbe Schein geschwunden ist, auf Weifs gesehen, und schliefst plötzlich die Augen, so tritt noch wieder ein schwaches positives bläuliches Nachbild auf, welches schnell wieder schwindet. Öffnet man dann die Augen, indem man sie auf Weifs richtet, so sieht man im ersten Augenblick noch wieder das gelbe Nachbild. Die
376 Erklärung dieser Erscheinung scheint mir in dem schon erwähnten Umstande zu suchen, dafs in einem ermüdeten Nerven die neue Reizung langsamer verschwindet, als in den umgebenden unermüdeten Theilen der Netzhaut.

Es scheint übrigens der Verlauf dieser Nachbilder intensiven Lichts bei verschiedenen Personen nicht wesentlich verschieden zu sein, wenn sie unter denselben Umständen entwickelt werden; wenigstens stimmen in dieser Beziehung meine eigenen Beobachtungen, so weit sie reichen, mit Fechner's und Seguin's überein.

Bei dieser complicirteren Farbenfolge dürfen wir vermuthen, dafs durch die stattfindende Ermüdung die Zeit, in der die Eindrücke der einzelnen Farben in der Netzhaut schwinden, so wie auch die Perception des inneren Lichtnebels geändert sei, und da wir weder diese Verhältnisse genau genug kennen, noch wissen, wie die Ermüdung selbst bei verschiedenen Graden derselben für die einzelnen Farbenempfindungen verschwindet, so ist eine vollständige Erklärung der einzelnen Stadien dieses farbigen Abklingens nicht möglich. Um sie zu geben, würde zuerst der Verlauf der Ermüdung und ihr Einflufs auf den Verlauf der Erregung für die einzelnen reineren Farbeneindrücke bestimmt und verglichen werden müssen.

Wenn wir das *Abklingen des Nachbildes nach Eindrücken gesättigter Farben* genau beobachten, ist die Erscheinung allerdings sehr viel einfacher, aber es fehlen Farbenveränderungen doch nicht ganz. Die Hauptzüge der Erscheinung sind schon vorher angegeben worden. Es erscheint zuerst ein positives dem primären Lichte gleich gefärbtes, später ein negatives complementäres Bild. Der Übergang von positiv zu negativ geschieht

nun aber nach lebhafteren Lichteindrücken in der Regel nicht so, daſs das eine Bild einfach erblaſst, und dann das andere sichtbar würde, sondern in diesem Übergangsstadium verändert sich die Farbe durch weiſsliche Farbentöne hindurch. Hat man nur eine primäre Farbe im Gesichtsfelde gehabt, so erscheinen die Farben des abklingenden Bildes noch immer ziemlich gesättigt, und sind von mehreren Beobachtern als gesättigte Farben angegeben worden, weil es im dunkeln Gesichtsfelde an einem Vergleichungspunkte fehlt. Wenn man aber an dem nur momentan gesehenen primären Objecte verschiedene Farben von ungefähr gleicher Helligkeit vor sich hatte, so sieht man, daſs die Nachbilder im Übergangsstadium von positiv zu negativ viel geringere Farbenunterschiede zeigen, als die ursprünglichen Farben, indem sie alle stark gemischt sind mit dem rosarothen oder gelblichen Weiſs, welches auch die Nachbilder momentan gesehener weiſser Objecte zeigen. In dieser Beziehung ist namentlich das Nachbild eines momentan angeschauten prismatischen Spectrum interessant. Nachdem noch einige Secunden die primären Farben im Nachbilde sichtbar gewesen sind, und die lichtschwachen äuſsersten Farben sich ganz verdunkelt haben, verwandelt sich das ganze Nachbild in einen röthlich weiſsen Fleck von der Gestalt des Spectrum, in welchem Farbenunterschiede kaum noch angedeutet sind, nur zieht das frühere Gelb und Orange etwas in das Bläuliche, woran sich an der Stelle des früheren Roth dessen, schon negativ gewordenes grünblaues Nachbild anschlieſst. Um mich über den Ort der früheren Farben im Nachbilde orientiren zu können, muſste ich auf dem weiſsen Schirm, auf den das 377
Spectrum projicirt war, einen schwarzen Strich machen, der parallel den Farbenstreifen das Spectrum schnitt, und im Nachbilde sichtbar blieb. So erkannte ich, daſs das röthlich weiſse Nachbild der ganzen Ausdehnung des Spectrum vom Orange bis Indigo entspricht. Dasselbe Resultat gewinnt man, wenn man farbige Papiere von nahe gleicher Helligkeit von der Sonne bescheinen läſst, und durch momentanes Anschauen ein Nachbild entwickelt.

Es geht hieraus hervor, daſs im positiven Nachbilde gefärbter Objecte nach momentanem Anblicke zuerst die vorherrschende Farbe schwindet, und damit das Nachbild dem eines weiſsen Objects ähnlich wird, wobei namentlich gewöhnlich die rosenrothe Phase eines solchen hervortritt. Dann entwickelt sich allmälig die Complementärfarbe des negativen Nachbildes, aber sie kann schon sichtbar werden, noch ehe das positive Bild negativ geworden ist, sie kann also heller erscheinen als der dunkle Grund. Ich glaube das Hervortreten der Complementärfarbe darauf zurückführen zu können, daſs sich zu dieser Zeit das schwach und weiſs gewordene positive Bild deckt mit dem durch die Ermüdung des Auges in dem inneren Lichtnebel entstehenden negativen und complementären Bilde. Es ist klar, daſs durch eine solche Deckung z. B. nach Anblick von Roth positives Weiſs und negatives Blaugrün zusammen ein grünlich weiſses positives Bild geben können. Diese positiv complementären Bilder sind von mehreren Beobachtern[1] er-

[1] PURKINJE, Zur Physiologie der Sinne. II. 110. 1825. — FECHNER, *Poggend. Ann.* L. 213. 1840. — BRÜCKE, Untersuchungen über subjective Farben, *Denkschr. der Akad. zu Wien.* Bd. III. S. 12. 1850.

wähnt. Hat man sie allein oder nur mit der primären Farbe zusammen im Gesichtsfelde, so erscheint die Complementärfarbe ziemlich gesättigt. Kann man sie aber mit Nachbildern anderer Farben vergleichen, so habe ich stets gefunden, dafs die Complementärfarbe stark mit Weifs oder Grau gemischt erschien, so lange sie noch heller als der Grund war, erst im negativen Nachbilde entwickelt sie sich dann gesättigter.

Im Sinne von Th. Young's Farbentheorie würden wir diese Erscheinungen so erklären, dafs jede, auch die gesättigteste objective Farbe subjectiv mit Weifs gemischt ist, dafs die starke Erregung, welche der vorherrschenden Farbe entspricht, verhältnifsmäfsig schneller abnimmt, als die schwachen Erregungen, welche den anderen im Weifs enthaltenen Farben entsprechen, so dafs der gesammte Farbeneindruck, indem er schwächer wird, auch sich dem Weifs nähert. Dann gewinnt in den lichtschwächeren Stadien des positiven Bildes endlich auch das durch Ermüdung bewirkte negative Bild mit seiner Färbung einen merklichen Einflufs.

Bei den einzelnen Farben geschieht das Abklingen nach momentanem Anblicke in etwas verschiedener Weise, je nach ihrer Verwandtschaft mit den Farbentönen des abklingenden Weifs. Beim Grün ist es meist am einfachsten, weil seine Complementärfarbe Rosaroth dem Rosaroth des abklingenden Weifs gleich ist. Dieser Farbenton entwickelt sich deshalb besonders hell und schön. Grünliches Blau geht durch Blau und Violett, Blau durch Violett in Rosaroth über, im letzteren Falle entwickelt sich die
378 folgende Phase des Gelb reiner und kräftiger, weil sie mit der Complementärfarbe des Blau zusammenfällt. Die vor dem Rosaroth liegende grünblaue und blaue Phase des abklingenden Weifs kann sich bei den bisher genannten Farben wegen ihrer Ähnlichkeit mit diesen Farben selbst nicht wohl bemerklich machen, scheint es aber zu thun beim Gelb, welches durch grünliches Weifs in Violett übergeht, und beim Roth. Bei dem letzteren tritt statt des Rosaroth mehr eine violette, später graugrüne Farbe ein. Es schwindet übrigens verhältnifsmäfsig am schnellsten. Dafs die grüne Stufe, wenn man keine anderen Farben zur Vergleichung im Gesichtsfelde hat, häufig gesättigt grün erscheint, ist schon vorher erwähnt. Es stimmen mit diesen Beobachtungen im Wesentlichen auch die Versuche von Aubert, welche er bei Betrachtung des elektrischen Funken durch farbige Gläser erhielt, nur das sehr gemischte Gelb gab ihm noch die gelbe Stufe des abklingenden Weifs nach dem Violett, ehe es zum negativen Blau kam. Meist auch bildete sich ein Lichthof, der die Stadien schneller durchlief.

Nach längerer oder stärkerer Einwirkung primären farbigen Lichts machen sich ebenfalls während des Überganges von dem positiven gleichfarbigen zum negativen complementärgefärbten Bilde einige von den Phasen merklich, welche weifses Licht zu dieser Zeit zeigt. Namentlich tritt vielfach der rothe Saum, und um diesen der blaugraue Saum auf. Fechner hat dergleichen Versuche angestellt, indem er durch Combinationen verschiedener farbiger Mittel, welche nur eine oder zwei Farben des Spectrum

durchliefsen, nach der Sonne sah; ich selbst kann einige Beobachtungen hinzufügen, welche ich mit prismatischen Farben angestellt habe, indem ich eine runde Öffnung betrachtete, durch welche Sonnenstrahlen, die ein Prisma passirt hatten, traten. Wenn das farbige Licht so intensiv ist, dafs es weifs oder gelb erscheint, so bleibt dies auch anfangs im Nachbilde, dann entwickelt sich aber allmälig die eigentliche Farbe deutlich.

Homogenes rothes Licht brachte FECHNER hervor, indem er theils durch ein rothes Glas, theils durch eine dicke Schicht Lackmustinctur nach der Sonne sah. Bei directer Betrachtung erschien es wegen seiner hohen Intensität gelb. Auch das Nachbild war anfangs gelb, am Rande roth, und wurde später durch Verminderung seiner Intensität ganz roth, gleichzeitig tauchte ein schwarzblaugrüner Saum auf. Im dunkeln Felde entwickelt sich bei diesem Versuche gewöhnlich kein deutliches negatives Bild. Auf weifsem Grund dagegen wird die grünblaue Farbe des Saumes central. Ich habe dasselbe an prismatischem Roth gesehen. Der Übergang vom Roth zum Grünblau geschah bei diesen Versuchen durch Violett. Nach etwas andauernder Betrachtung einer Flamme durch ein rothes Glas geschieht er dagegen meist durch ein positives Gelbgrün, dem das negative Grünblau folgt.

Homogenes Gelb erhielt FECHNER durch Combination zweier blafsgelben, eines grünen und eines blafsrothen Glases, wobei aufser Gelb nur wenig Grün durchging. Das Nachbild erschien gelb mit rothem Rande, um letzteren bildete sich ein dunkel blaugrüner Ring. Bei einem einfachen gelben Glase, welches Roth, Gelb, Grün und eine Spur von Blau durchliefs, folgte sich Gelb, Grün, dann Blaugrau mit rothwarzem Umring. Bei reinem prismatischen Gelb sah ich ebenfalls den Übergang in Grün und den rothschwarzen Umring. Das Grün und Roth kommen im Nachbilde des 379
Weifs unter denselben Umständen vor. Dagegen sah PURKINJE,[1] nachdem er eine Kerzenflamme 12 bis 60 Secunden angeschaut hatte, die Farbenfolge: blendend weifs, gelb, roth, blau, mild weifs, schwarz.

Ziemlich reines Grün, mit Gelb gemischt, erhielt FECHNER durch ein grünes, ein hellblaues und zwei hellgelbe Gläser. Die Sonne erschien dadurch grünlichweifs; ebenso das Nachbild mit schwarzrothem Umringe. Grün, mit sehr wenig Blau und Gelb gemischt, erhielt er durch drei grüne und ein gelbes Glas. Die Sonne erschien fast weifs, das Nachbild ebenso etwas grünlich mit bläulichweifsem Saum, später bläulichweifs mit schwarzrothem Umring, um den eine Zeit lang ein schwach lilafarbener Schein sichtbar war. Ich selbst erhielt von prismatischem Grün ein grünes Nachbild, blau gesäumt, und auf weifsem Grunde dunkles Purpur, gelb gesäumt.

Blau, mit Grün gemischt, erhielt FECHNER durch eine Kupferlösung. Die Sonne erschien, dadurch gesehen, weifs. Das Nachbild anfangs ebenso weifs, dann blau. Es entwickelte sich dann ein positiv grüner, um diesen

[1] PURKINJE, Beobachtungen und Versuche. I. 100. 1819.

ein negativ rother Rand. Prismatisches Blau erzeugte mir ebenfalls den purpurnen Saum, während die Umgebung complementär Goldgelb gefärbt erschien.

Homogenes Violett erhielt Fechner mittels einer dicken Schicht schwefelsaurer Kupferlösung, mit Ammoniak versetzt, und eines violetten Glases. Die Sonne erschien bläulichweiſs. Ebenso anfangs das Nachbild; es bekam dann einen dunkelvioletten, um diesen einen schwarzrothen Umring, die Umgebung grünlich. Die Erscheinung verschwand, ehe der Umring central wurde.

In allen diesen Fällen zeigt sich, wo der Saum des Nachbildes anfängt negativ zu werden, der rothe Saum, der auch bei den Nachbildern des Weiſs eintritt, als wäre die homogene Farbe mit Weiſs gemischt, dessen Abklingungsphasen sich merklich machen zu der Zeit, wo die positive Nachwirkung der Hauptfarbe mit der complementären negativen sich im Gleichgewicht hält.

Wenn das primär gesehene weiſse oder farbige Licht von geringer Stärke oder bei mäſsiger Stärke von sehr geringer Dauer ist, so bleiben positive Bilder zurück, die durch sehr schwach gefärbte weiſsliche Töne abklingen, deren Farbenton schwer zu benennen ist und durch Contraste in der auffälligsten Weise abgeändert werden kann, wodurch denn die sonderbarsten scheinbaren Widersprüche in den Resultaten eintreten. Hat man viele verschieden gefärbte Objecte im Gesichtsfelde, so blassen die Farbenunterschiede im Nachbilde aus. Dieser Art scheinen auch die von Aubert bei Beleuchtung farbiger Objecte mit dem elektrischen Funken erhaltenen Nachbilder gewesen zu sein. So erscheinen ihm rothe Quadrate auf Weiſs im Nachbilde roth, ein breiterer rother Streifen, aus demselben Papier geschnitten, mit weiſsen Quadraten auf weiſsem Grunde dagegen grün. Das Nachbild blauer und gelber Streifen mit schwarzen Quadraten auf schwarzem Grunde erschien ihm immer gelb, auf weiſsem Grunde lieferten beide Streifen blaue Nachbilder. Wovon diese Verschiedenheiten abhingen, bleibt noch zu ermitteln.

*380* Andere Erscheinungen des farbigen Abklingens beobachtet man an rotirenden Scheiben, welche schwarze und weiſse Sectoren haben, und nicht so schnell rotiren, daſs ein ganz continuirlicher Eindruck im Auge entsteht. Wenn man eine solche Scheibe anfangs langsam, dann allmälig schneller rotiren läſst, und sie anhaltend betrachtet, aber so, daſs man vermeidet der bewegten Figur mit dem Blicke zu folgen, bemerkt man, daſs das Weiſs sich färbt, und zwar an dem vorangehenden Rande röthlich, an dem hinterher folgenden bläulich. Bei schwächerem Licht zieht der röthliche Farbenton mehr in das Rothgelbe, der bläuliche in Violett, bei stärkerem der erste in Rosaroth, der letztere in Grünblau. Bei langsamer Rotation ist der bläuliche Ton anfangs über einen breiteren Theil des Weiſs ausgedehnt als der röthliche. Bei schneller Rotation dagegen breitet sich das Roth als Rosaroth über das ganze Weiſs aus, während das Grünblau auf die schwarzen Sectoren hinüberrückt; im Ganzen erscheint dann auf der Scheibe das Violett zu über-

wiegen. Bei noch schnellerer Rotation kann man die verschiedenen Sectoren nicht mehr von einander scheiden, man sieht dann das Feld fein gesprenkelt, und die Flecke zwischen violettem Rosa und Grüngrau hin und her flimmern. Endlich bei noch weiterer Steigerung der Rotationsgeschwindigkeit wird das Flimmern schwächer, die graue Mischfarbe des Weifs und Schwarz tritt immer mehr hervor, und ist nur noch von veränderlichen gröfseren Flecken von violettem Rosa überlaufen, welche wie die Flecken und Streifen in gewässertem Seidenzeug geformt sind.

Man sieht diese verschiedenen Stadien der Erscheinung sehr gut neben einander, wenn man eine Scheibe in drei concentrische Ringe abtheilt, wie in *Fig. 195*, und dem innersten 2 schwarze und 2 weifse Sectoren, dem mittleren von beiden je 4, dem äufseren je 8 giebt. Wenn die Scheibe mit gewisser Schnelligkeit rotirt, hat man auf dem innersten Felde die überwiegend grünliche Färbung des Weifs, im mittleren die rosarothe, im äufsern das feingesprenkelte Flimmern. Bei gröfserer Geschwindigkeit zeigt das innere Feld die rosarothe Färbung, das mittlere das feingesprenkelte Flimmern, das äufsere das mit Violett gewässerte Grau. Ich bemerke dabei noch, dafs derjenige Streif, auf welchem das Rosaroth am reinsten entwickelt ist, immer dunkler erscheint als die benachbarten Streifen, in denen der Wechsel langsamer oder schneller stattfindet. Die Ordnung der Farben, wie sie zuerst auf den weifsen Streifen auftreten, ist an einer in Sectoren getheilten Scheibe erst nach einiger Übung zu erkennen, leichter an einer Scheibe (*Fig. 196*), die von einer schwarzen und einer gleich breiten weifsen Spirallinie bedeckt ist. Es geht daraus hervor, dafs wenn ein Punkt der Retina in schneller Abwechselung von weifsem Lichte getroffen und wieder verdunkelt wird, so dafs die Netzhaut sich im Zustande abwechselnd steigender und sinkender Erregung findet, die Zeit der Maxima der Erregung nicht für alle Farben auf denselben Augenblick fallt, sondern die Erregung für Roth und Violett früher eintritt als für Grün.



*Fig. 195.*



*Fig. 196.*

Es treten diese Farbenerscheinungen gewöhnlich nicht im ersten Augenblicke des Hinsehens ein, sondern erst nach einiger Zeit, und werden dann allmalig immer glanzender. Es scheint

also ein gewisser Grad von Ermüdung des Auges durch das flimmernde Licht dafür nothwendig zu sein. Aufserdem verbinden sich damit nun noch andere Erscheinungen, welche von einer verschiedenen Empfänglichkeit verschiedener Stellen der Netzhaut für diese Art von Reizung herzurühren scheinen. Es werden nämlich in dem flimmernden Licht gewisse Muster sichtbar, die zum Theil in Beziehung zu bestimmten Stellen der Netzhaut stehen.

Purkinjes[1] Lichtschattenfigur. Wenn nämlich die Geschwindigkeit Scheibe so grofs geworden ist, dafs man die einzelnen Sectoren nicht mehr der einzeln erkennt, so erscheint die Zahl der Sectoren vermehrt, und diese bilden gleichsam ein Gitter von verwaschen gezeichneten und gekrümmten Stäben, dessen Maschen in Richtung des Radius der Scheibe am längsten sind. Bei steigender Schnelligkeit der Bewegung wird die Zeichnung feiner, ähnlich der eines Stickmusters, und es erscheint an derjenigen Stelle des flimmernden Feldes, welche dem gelben Flecke entspricht, eine eigenthümliche in schärferen Gegensätzen von Licht und Dunkel gezeichnete rundliche oder querovale Figur, zu vergleichen etwa mit einer vierblätterigen Rose, deren Blätter aber sich einer sechseckigen Form nähern. In ihrem Centrum steht ein dunkler Punkt, von einem hellen Kreis umgeben. Dieselben Figuren kann man auch hervorbringen, indem man mit geschlossenen Augenlidern sich gegen ein helles Licht kehrt, und die aus einander gespreizten Finger vor dem Auge hin und her bewegt, so dafs das Auge in schnellem Wechsel beleuchtet und beschattet wird. Überhaupt kommt es nur darauf an, einen solchen schnellen Wechsel von Schatten und Licht hervorzubringen. Purkinje unterscheidet bei diesen Figuren die primären und secundären Gestalten. Die primären Gestalten sind in seinem rechten Auge gröfsere und kleinere Vierecke, schachbrettartig dunkel und hell wechselnd, die den gröfsten Theil des Gesichtsfeldes überziehen. Nur abwärts vom Mittelpunkte sieht er gröfsere Sechsecke in einer Strecke ausgebreitet. Von der in meinen Augen ziemlich regelmäfsig ausgebildeten Rosette des gelben Flecks scheint er nur einzelne Züge gesehen zu haben, dagegen sind bei mir die Flecken aufserhalb des Centrum weder regelmäfsig viereckig noch sechseckig, sondern unregelmäfsig, nach der Peripherie an Gröfse zunehmend.
382 Aehnlich sah sie auch Purkinje mit seinem schwachsichtigen linken Auge. Als secundäre Gestalten, die namentlich, wenn er die geschlossenen Augenlider gegen die Sonne kehrt, erscheinen, beschreibt Purkinje achtstrahlige Sterne und eigenthümliche eckig gebrochene Spirallinien, welche sich aus den primären Mustern durch Verschiebung der hellen und dunkeln Vierecke entwickeln, übrigens sehr wandelbar sind. Die secundären Gestalten erschienen ihm im linken, wie im rechten Auge nur symmetrisch umgestellt.

Beobachtet man diese Erscheinungen auf den rotirenden Scheiben, so verwischt sich bei gröfserer Geschwindigkeit die Erscheinung immer mehr, und es bleiben nur noch die gewässerten Flecke als letzter Rest zurück, die schon vorher beschrieben sind. Zur Zeit, wo das Flimmern am heftigsten

[1] Purkinje, *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne*. Bd. I. Prag 1823. S. 10.

ist, verschwindet bei recht starrem Hinblicken zuweilen die ganze Figur, und es wird anscheinend hinter ihr ein dunkelrother Grund sichtbar, in welchem eine große Menge in einander verschlungener Strömungen vorhanden zu sein scheint, eine Erscheinung, in der VIERORDT[1] den Blutlauf der Netzhautgefäße zu erkennen glaubt. In meinen eigenen Augen entspricht das Bild dieser Bewegung mehr uferlosen Strömungen, die fortdauernd ihr Bett wechseln und sich hin und her schieben. Man könnte allerdings daran denken, daß die intermittirende Beleuchtung die Bewegung der Blutkörperchen sichtbar mache, ebenso wie man dadurch die Bewegungen und Formen der Tropfen eines ausfließenden Strahls sichtbar macht. Aber was ich selbst davon gesehen habe, würde ich nicht wagen für Blutbewegung zu erklären, eher glaube ich, daß Lymphkörperchen, welche im Blute sparsamer vorkommen als helle Flecke, die durch das Gesichtsfeld schießen, dabei sichtbar werden.

Läßt man auf den flimmernden Scheiben farbiges Licht mit Schwarz wechseln, indem man entweder auf den Scheiben farbige Sectoren anbringt, oder die schwarzweißen Scheiben durch farbige Gläser betrachtet, so zeigen auch unter diesen Umständen selbst homogene Farben Spuren von farbigem Abklingen. Sieht man z. B. durch ein rothes Glas, welches keine andere Farbe als Roth hindurchläßt, so erscheint der vorausgehende Rand der hellen Felder orange, der nachfolgende rosaroth, entsprechend dem gelb und blau im weißen Licht. Der schwarze Grund überzieht sich gleichzeitig mit complementärem Grün. Noch deutlicher wird die Complementärfarbe,[2] wenn man von den Spiralbändern das eine farbig, das andere grau macht, die Scheibe eine Weile laufen läßt und dann plötzlich anhält, oder auch wenn man mit einer Scheibe mit abwechselnd farbigen und weißen oder grauen Sectoren ebenso verfährt. SINSTEDEN[3] brauchte zu demselben Zwecke eine orangerothe Scheibe mit ausgeschnittenen Sectoren, die über einer weißen, beschatteten lief. Wenn er die obere anhielt, erschien die untere lebhaft blau.

Aehnliche Erscheinungen erhielt auch E. BRÜCKE, indem er eine kleine schwarze Scheibe vor einer farbigen Glastafel in schwingende Bewegung setzte. Namentlich auffallend war dabei die Erscheinung vor einer grünen Scheibe, indem die Stellen, vor denen Hell und Dunkel wechselte, rosaroth erschienen, die ganz bedeckten und ganz unbedeckten dagegen grün.

Ein eigenthümliches vielleicht hierher gehöriges Phänomen sind die 383
sogenannten flatternden Herzen. Auf farbigen Blattern aus steifem Papier sind Figuren von einer anderen lebhaften Farbe angebracht; am besten scheinen Roth und Blau zu wirken, die Farben müssen sehr lebhaft und gesättigt sein. Wenn man die Blatter betrachtet und mit einer gewissen Geschwindigkeit hin und her bewegt, scheinen die Figuren selbst gegen das Papier sich zu verschieben und auf diesem hin und her zu schwanken. Der

[1] VIERORDT, Archiv für physiol. Heilkunde 1856. Heft II.
[2] H. W. DOVE in Pogg. Ann. LXXV. [illegible]. 1848.
SINSTEDEN, Ebenda. LXXXIV. [illegible]. 1850.

Grund der Erscheinung scheint darin zu liegen, dafs der Lichteindruck im Auge für die verschiedenen Farben nicht gleich schnell zu Stande kommt und vergeht, und deshalb das Blau in der von dem Blatte beschriebenen Bahn scheinbar etwas hinter dem Roth zurückbleibt. Etwas Aehnliches wird auch wahrgenommen, wenn man das Auge statt des Objects bewegt. So sahen WHEATSTONE,[1] BRÜCKE und E. DU BOIS-REYMOND[2] bei Gasbeleuchtung, wenn sie das Auge über rothe und grüne Tapeten hinstreifen liefsen, dafs das Muster sich scheinbar bewegte. Nach BREWSTER sieht man es auch, wenn helles Tageslicht durch ein kleines Loch in ein sonst dunkles Zimmer fällt.

Ich habe in der bisher gegebenen Darstellung mich der namentlich von FECHNER durchgeführten Ansicht angeschlossen, wonach alle Erscheinungen der Nachbilder theils in einer noch fortbestehenden Reizung der Netzhaut, theils in einer verminderten Reizempfänglichkeit derselben ihren Grund finden. In der That, wenn man die bisherige Bedeutung des Begriffs Reizung und Reizempfänglichkeit festhält, müssen wir von fortbestehender Reizung sprechen, wenn ein Auge im absolutem Dunkel ein positives Nachbild sieht, und wir müssen die Reizempfänglichkeit als vermindert betrachten, wenn das Auge am Orte eines negativen Nachbilds äufseres Licht schwächer empfindet, als mit der nicht ermüdeten Netzhaut. Dafs also Reizung fortbesteht und die Reizempfänglichkeit vermindert sei, ist keine Hypothese, sondern unmittelbarer Ausdruck der Thatsachen. Auch genügen diese beiden Umstände, um die bei weitem gröfste Zahl der augenfälligeren und constanten Erscheinungen dieses Gebiets zu erklären, namentlich die Erscheinungen der veränderten Lichtintensität, der positiven gleichfarbigen und negativen complementären Nachbilder. Ob wir es dabei nur mit einer Störung der Thätigkeit der Nervensubstanz zu thun haben, und wieviel dabei vielleicht die photochemischen Veränderungen der Pigmente der Retina mitspielen müssen wir vorläufig dahingestellt sein lassen. Die sehr zusammengesetzten Erscheinungen des farbigen Abklingens starker oder anhaltender Lichteindrücke vollständig auf ein einfaches Schema zurückzuführen, möchte freilich vor der Hand noch schwer sein und allerlei willkürliche Annahmen nothwendig machen. Indessen läfst sich einsehen, warum diese Erscheinungen so veränderlich sein müssen. Wir kennen eben weder das Gesetz, wonach eine mehr oder weniger vorgeschrittene Ermüdung des Auges für die einzelnen Farben verschwindet, noch die Abhängigkeit, in welcher die Stärke des nachbleibenden Lichteindrucks von der Ermüdung steht. Die negativen complementären Bilder im dunkeln Gesichtsfelde sind hierbei nach FECHNERS Ansicht als veränderte Empfindungsweisen der inneren Reize der Netzhaut anzusehen. Viele Physiker haben dagegen diese Bilder als Wirkungen einer neuen entgegengesetzten Thätigkeit der Netzhaut angesehen, und namentlich hat PLATEAU[3] diese Ansicht zu einer zusammenhängenden Theorie ausgebildet. Er wies nach, dafs man dergleichen complementär gefärbte Bilder auch beim gänzlichen Mangel alles äufseren Lichtes sehen könne, und da er auf das Eigenlicht des Auges noch nicht auf-
384 merksam geworden war, wufste er die Erscheinung eben nicht anders als durch

[1] WHEATSTONE. *Inst.* No. 582. p. 75. 1845.

[2] BRÜCKE und E. DU BOIS-REYMOND, *Die Fortschritte in der Physik im Jahre 1845*, redig. von KARSTEN. I. 223.

[3] J. PLATEAU, *Ann. de Chim. et de Phys.* LIII. 386. 1838. *Pogg. Ann.* XXXII. 543. 1833.

eine neue entgegengesetzte Thätigkeit der Netzhaut zu erklären. Da er weiter auch noch spätere Wechsel des positiven und negativen Bildes bemerkte, so stellte er den Satz auf, daſs die Netzhaut nach jedem heftigen Lichteindruck erst durch eine Reihe von Oscillationen zur Ruhe käme, wobei sie abwechselnd nach einander entgegengesetzte Zustände durchlaufen sollte. Diese entgegengesetzten Zustände entsprächen der Empfindung complementärer Farben. Er brachte dies in Verbindung mit gewissen Contrasterscheinungen, die im nächsten Paragraphen näher besprochen werden sollen, und nahm auch für die räumliche Ausbreitung des Eindrucks eine Reihe solcher Oscillationen an. Dagegen ist eben zu erinnern, daſs die negativen complementären Nachbilder nicht in einer activen Thätigkeit der Netzhaut bestehen, sondern im Gegentheil als Verminderungen der schon vorher bestehenden inneren Lichtempfindung sichtbar werden; und daſs ferner jene Wechsel zwischen positiven und negativen Bildern, wie man bei genauer Aufmerksamkeit fast immer erkennt, von äuſseren Umständen, namentlich von schwachen Änderungen in der Beleuchtung des Augengrundes abhängen. Ich halte es für sehr miſslich, diese zarten, äuſserst schwankenden Erscheinungen, wie es die Nachbilder zur Zeit ihres Kampfes zwischen positiv und negativ im dunkeln Gesichtsfelde sind, bei der hoch gesteigerten Empfindlichkeit des Organs, welches lange im Dunkeln verweilt hat, wo nachweisbar kaum wahrnehmbare äuſsere Einflüsse die Verwandlung des Bildes herbeiführen, als Basis einer Theorie zu benutzen. Wir dürfen uns aber nicht wundern, wenn wir unter diesen Umständen noch nicht immer den Grund der eintretenden Veränderungen zu bezeichnen wissen. Übrigens hat schon FECHNER auf eine andere Schwierigkeit von PLATEAUS Theorie aufmerksam gemacht. Dieser muſs nämlich annehmen, daſs bei den Nachbildern die complementären Farben als entgegengesetzte Thätigkeiten der Netzhaut sich einander aufheben und Dunkelheit erzeugen. Wenn z. B. ein complementär gefärbtes Nachbild besteht, ist die Wahrnehmung der primären Farbe beeinträchtigt. Wenn man nach einander das Auge durch grün und roth ermüdet hat, ist das Nachbild schwarz. Wie läſst sich aber diese Behauptung vereinigen mit der Thatsache, daſs die gleichzeitig von objectivem complementären Lichte hervorgebrachten Empfindungen sich zu der von Weiſs vereinigen, welches heller ist als jede der beiden Farben einzeln genommen?

BRÜCKE betrachtet die positiv complementaren Nachbilder als unvereinbar mit FECHNERS Theorie. Ich habe schon vorher darauf aufmerksam gemacht, daſs die Färbung dieser Bilder in der That sehr weiſslich ist und nur durch den Contrast gegen die vorher gesehene primäre Farbe und den mangelnden Vergleich mit anderen Farben die complementare Farbe so grell hervortritt. Hat man gleichzeitig zwei primäre Farben neben einander gesehen, so überzeugt man sich leicht davon, daſs ihre Nachbilder in den letzten Augenblicken ihrer positiven Erscheinung nur einen geringen Hauch der complementären Farben zeigen, so daſs ich glaube, diese Bilder als aus einem positiven weiſslichen Nachbilde und einem negativen complementären gemischt ansehen zu dürfen und dadurch diese Erscheinung auch unter FECHNERS Erklärung fügen zu können. Zu erwähnen ist noch eine räthselhafte Erscheinung, die AUBERT beschreibt bei den Nachbildern von Gegenständen, die durch den elektrischen Funken beleuchtet waren. Hier sah er bei schwarzen und rothen Quadraten auf weiſsem Grunde scheinbar gleichzeitig mit dem überschlagenden Funken leuchtende negative Bilder. Diese fehlten aber bei weiſsen Quadraten auf schwarzem Grunde, zuweilen erschienen sie gegen das Urbild verschoben. Ihnen folgten erst die gleich-

farbigen positiven Bilder. Von farbigen Streifen auf weifsem oder schwarzem Grunde sollen die Nachbilder immer complementär gefärbt und immer heller als der Grund gewesen sein.

985 Ich halte es überhaupt für gerathen, in diesem äufserst verwirrten Gebiete der mannigfaltigsten Erscheinungen eine theoretische Ansicht, die wie die FECHNER'sche bei weitem die gröfste Zahl der hierher gehörigen Erscheinungen leicht erklärt, und namentlich alle diejenigen gut erklärt, welche sich durch ihre Energie, Deutlichkeit und Constanz auszeichnen, als leitenden Faden festzuhalten, selbst wenn sich auch einzelne flüchtigere Erscheinungen finden, für welche man gegenwärtig noch keine ganz genügende Erklärung geben kann, wie es die Farbenwandlungen sind, die in dem Augenblicke erfolgen, wo das Bild aus positiv in negativ übergeht und wo die entgegengesetzten Einflüsse der nachdauernden Reizung und der Ermüdung sich in einem leicht veränderlichen Gleichgewichte befinden. Für jetzt habe ich noch keine Erscheinung auffinden können, welche entschieden unvereinbar mit FECHNER's Erklärungsprincipien wäre.

Beschrieben worden die positiven und negativen Nachbilder der Fenster 1634 von PEIRESC.[1] Dann tritt der Versuch als eine Art Kunststück auf. BONACURSIUS behauptet gegen den Jesuiten ATHAN. KIRCHER,[2] er könne bewirken, dafs man im Finstern ebenso gut sehe, wie im Hellen, und behielt Recht, indem er KIRCHER im dunkeln Zimmer eine in einer Öffnung des Fensters befestigte Zeichnung starr betrachten liefs. Dann wurde das Zimmer ganz verdunkelt, und KIRCHER sah die Zeichnung deutlich wieder, indem er (was unnöthig war) nach einem in der Hand gehaltenen weifsen Papier blickte. KIRCHER giebt die Erklärung dazu, dafs das Auge das eingesogene Licht wieder ausstrahle und das vorgehaltene Papier beleuchte. MARIOTTE[3] wiederholte ähnliche Versuche. NEWTON kannte die Blendungsbilder, und soll sie für psychischer Natur erklärt haben,[4] weil er die Nachbilder, welche durch Blicken nach der Sonne erzeugt waren, noch längere Zeit dadurch wieder hervorrufen konnte, dafs er die Aufmerksamkeit auf sie richtete. Er wurde zu diesen Versuchen veranlafst durch eine Anfrage von LOCKE, der sie in ROB. BOYLES Buch über die Farben erwähnt gefunden hatte. Eine vollständigere Theorie der Erscheinungen gab dann JURIN[5] im Jahre 1738, und zwar gründete er sie theils auf die Fortdauer der Reizung, theils auf die Annahme, dafs beim Aufhören einer stark angeregten Empfindung von selbst eine entgegengesetzte hervorgerufen würde. Ausführliche Beschreibungen der Erscheinungen gab BUFFON,[6] die dann später dem Pater SCHERFFER[7] das Material zur Begründung seiner Theorie gaben. Dieser stellte im Gegensatz zu JURIN die Ansicht auf, dafs die Nachbilder — er kennt fast nur negative — durch die verminderte Empfindlichkeit der ermüdeten Netzhaut entstehen. Dasselbe Princip wendet er auch zur Erklärung der complementären Farbe an, indem er sich dabei auf NEWTONS Farbenmischungsregel stützt. Eine andere etwas willkürlich aufgeputzte Theorie dieser Erscheinungen, die aber schon an PLATEAUS Oscillationen erinnert, gab GODART.[8] Eine Menge von Beobachtungen kamen weiter hinzu durch DARWIN,[9] namentlich über die

[1] PEIRESC, Vita. p. 175, 296. 1634.
[2] ATHAN. KIRCHER Ars magna. p. 162. 1646.
[3] MARIOTTE, Œuvres. p. 318. 1668.
[4] D. BREWSTER, Newton's Leben übers. von GOLDBERG. Leipzig 1833. S. 263.
[5] JURIN, Essay on distinct and ind. vis. p. 170 in SMITH's Optics. Cambridge 1738.
[6] BUFFON, Mém. de Paris. 1743. p. 215.
[7] SCHERFFER, Abhandlung von den zufälligen Farben. Wien 1765. — Lateinisch vom Jahre 1761 auch im Journal de Physique de ROZIER. XXVI. 175 und 273. (1785.)
[8] GODART, Journ. de Physique. 1776. VIII. 1 und 269.
[9] DARWIN, Phil. Transact. 1786. LXXVI. 313. — Zoonomie übers. von BRANDIS. Hannover 1795. II. 387.

farbigen Nachbilder, durch AEPINUS[1] und DE LA HIRE[2] über das farbige Abklingen des Sonnenbildes, durch GERGONNE,[3] BROCKEDON,[4] der sie zugleich zu einer Theorie der ästhetischen Farbenharmonie zu verwenden suchte, LEHOT,[5] der namentlich auf die Erscheinungen aufmerksam machte, die bei plötzlicher Änderung der Entfernung eines farbigen Feldes entstehen, GOETHE,[6] BEER[7] über Verschwinden der Farben durch Hinstarren bei operirten Staarkranken, HIMLY und TROXLER,[8] PURKINJE,[9] OSANN,[10] SPLITTGERBER,[11] KNOCHENHAUER,[12] DOVE[13] über subjective Farben an bewegten Objecten, SINSTEDEN,[14] 386
SCORESBY,[15] GROVE[16] über die Wiederbelebung von Nachbildern durch abwechelnde Erhellung und Verdunkelung des Gesichtsfeldes, SEGUIN[17] viele und genaue Beobachtungen über Abklingen der Farben, BRÜCKE,[18] AUBERT[19] über Nachbilder durch den elektrischen Funken erzeugt.

Von Versuchen zur theoretischen Zusammenfassung und Erklärung der hierher gehörigen Erscheinungen ist noch weiter zu erwähnen der Versuch von PRIEUR DE LA CÔTE D'OR,[20] sie auf das Princip des Contrastes zurückzuführen, ferner die von BREWSTER aufgestellte Ansicht,[21] dafs die complementäre Farbe sich zugleich mit der gesehenen entwickele und diese trübe. Es liefen die entgegenstehenden Ansichten zuletzt aus in die beiden zusammenfassenden Arbeiten von PLATEAU[22] und FECHNER.[23] Der erstere brachte die Meinungen, welche entgegengesetzte Thätigkeiten der Netzhaut annehmen, in eine consequente Form, FECHNER dagegen, der mit einer aufserordentlichen Selbstaufopferung auch gleichzeitig eine grofse Reihe genauer, selbst messender Versuche in diesem Gebiete ausgeführt hat, gab zuerst eine genügende Herleitung der negativen Bilder aus dem Princip der Ermüdung. Diese beiden Arbeiten bezeichnen im Wesentlichen noch den gegenwärtigen Stand der Wissenschaft. Der Begriff der Ermüdung des Auges für eine einzelne Farbe bedurfte aber noch einer näheren Definition. Die Farbentheorie von TH. YOUNG gab eine solche. Um sie zu prüfen, habe ich die Versuche über die Nachbilder der Spectralfarben ausgeführt,[24] wobei ich auf die grofse Deutlichkeit der positiven Nachbilder nach momentaner Lichtwirkung aufmerksam wurde.

## § 24. Vom Contraste.

Wir haben im vorigen Paragraphen untersucht, wie nach einander ge- 388
sehene Farben sich gegenseitig verändern. Es bleibt uns jetzt noch übrig

[1] AEPINUS, *Journ. de Phys.* XXVI. 291. 1776. — Novi Comment. Petrop. X. 286.
[2] DE LA HIRE, bei PORTERFIELD *on the eye.* I. 343.
[3] GERGONNE, *Journ. de Mathémat.* XXI. 291. 1830.
[4] BROCKEDON, *Quart. Journal of Sc.* N. XIV. 399; *Wiener Zeitschr.* VIII. 171.
[5] LEHOT, *Fechner, Repertorium* 1832. p. 229.
[6] GOETHE, *Farbenlehre.* I. 15, 20.
[7] BEER, *Das Auge oder Versuch das edelste Geschenk des Schöpfers zu erhalten.* S. 1—8.
[8] HIMLY, *Ophthalmol. Bibl.* Bd. I. Stück 2. S. 1-20. Bd. II. St. 2. S. 40.
[9] PURKINJE, *Beiträge.* I. 72, 96. 1819.
[10] OSANN, *Pogg. Ann.* XXXVII. 288. 1836.
[11] SPLITTGERBER, Ebenda. LI. 567. 1840.
[12] KNOCHENHAUER, Ebenda. LIII. 346. 1841.
[13] DOVE, Ebenda. LXXI. 112. LXXV. 524, 526. 1848.
[14] SINSTEDEN, Ebenda. LXXXIV. 45. 1850.
[15] SCORESBY, *Philosoph. Mag.* (4) VIII. 544. 1854.
[16] GROVE, Ebenda. (4) III. 43—436. 1852.
[17] SEGUIN, *Ann. de Chim. et de Phys.* Sér. 3. XLI. 413—431. 1850. C. R. XXXIII. 642. XXXIV. 767. XXXV. 476. 1850.
[18] BRÜCKE, Denkschr. d. k. k. Akad. zu Wien III; *Pogg. Ann.* LXXXIV. 418. 1851.
[19] AUBERT, *Moleschott, Untersuchungen zur Naturl.* Bd. V. 279. 1858.
[20] PRIEUR DE LA CÔTE D'OR, *Ann. de Chimie.* LIV. p. 1. 1804.
[21] BREWSTER, *Phil. Mag.* II. 89. IV. 354. 1833. — *Pogg. Ann.* XXIX. LXI. 138.
[22] PLATEAU, *Ann. de Chim. et de Phys.* 1833. LIII. 386; 1835. LVIII. 337. *Pogg. Ann.* XXXII. 543. Am vollständigsten in *Essai d'une Théorie génér. comprenant l'ensemble des apparences visuelles qui succèdent à la contemplation des objets colorés.* Bruxelles 1834.
[23] FECHNER, *Pogg. Ann.* XXXXIV. 221, 513. 1838. XXXXV. 227; L. 193, 427. 1838.
[24] Öffentlich vorgetragen in der Sitzung der niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde in Bonn am 3. Juli 1858 und in der Naturforscherversammlung zu Carlsruhe September 1858.

zu untersuchen, welchen Einfluſs verschiedene im Gesichtsfelde neben einander gleichzeitig erscheinende Helligkeiten und Farben auf einander ausüben.

Da der Erfolg einer solchen Nebeneinanderstellung meistentheils der ist, daſs jeder Theil des Gesichtsfeldes neben einem helleren dunkler, neben einem dunkleren heller aussieht, und seine Farbe neben einer anderen Farbe gesehen sich mehr oder weniger der Complementärfarbe der letzteren annäherte, so hat der hierin sich aussprechende Gegensatz zu dem Namen des Contrastes Veranlassung gegeben. Genauer unterscheidet Chevreul die hierher gehörigen Erscheinungen unter dem Namen des simultanen Contrastes von denjenigen, wo zwei Farben nach einander auf derselben Netzhautstelle erscheinen, welche er mit dem Namen des successiven Contrastes belegt.

Es kommen nun aber auch Fälle vor, wo die Farbe eines Theiles des Gesichtsfeldes durch Nebensetzung einer anderen Farbe so verändert wird, daſs sie der letzteren selbst, nicht ihrer Complementärfarbe ähnlicher wird. Auf diese würde der Name des Contrastes nicht unmittelbar passen, wenn auch vielleicht in Wirklichkeit hier die eine Farbe durch einen Contrast gegen die Complementärfarbe der anderen verändert wird. Um nun solche Fälle durch die Bezeichnung nicht auszuschliessen, bezeichnet Brücke diejenige Farbe, welche durch die Wirkung einer im Gesichtsfelde daneben stehenden hervorgebracht wird, als die inducirte Farbe, und diejenige andere, welche die Veranlassung zur Erscheinung jener ersten giebt, als die inducirende Farbe. Dabei wollen wir, wenn das Feld, dessen Farbe verändert ist, selbst farbig ist, dessen Farbe wie früher die reagirende nennen. Indem die reagirende Farbe durch die inducirte verändert wird, entsteht die resultirende Farbe. Im Allgemeinen passen also unmittelbar unter den Begriff des Contrastes nur die gewöhnlichen Fälle, wo die inducirte Farbe der inducirenden complementär ist. Es kommen aber Fälle vor, wo die inducirte Farbe der inducirenden gleich ist.

Was zunächst die Erscheinungen des successiven Contrastes betrifft, so ergeben sich diese leicht aus dem, was im vorigen Paragraphen gesagt ist. Hat man ein Feld von der Farbe $A$ und mittlerer Helligkeit angeschaut, und wendet das Auge auf ein anderes von der Farbe $B$, so ist die nachbleibende Reizung des Eindrucks $A$ in der Regel nicht so groſs, um auf einem zweiten Felde von mittlerer Helligkeit ein positives Nachbild zu Stande kommen zu lassen, man sieht also ein negatives Nachbild von $A$ auf dem Felde $B$. Dadurch werden diejenigen Theile der Farbe $B$ geschwächt, welche mit $A$ gleichartig sind. Ist $B$ von demselben Farbenton wie $A$, so wird es durch den Contrast weisslicher oder grauer, ist es complementär, so wird es gesättigter. Liegt es auf einer oder der anderen Seite des Farbenkreises zwischen $A$ und seiner Complementärfarbe, so geht es in einen benachbarten Farbenton über, der, weiter von $A$ entfernt, näher an seiner Complementärfarbe liegt. Übrigens erscheint $B$ desto mehr verdunkelt, je heller $A$ gewesen ist. Dies wäre also das allgemeine Gesetz des successiven Contrastes. voraus-

gesetzt solche Helligkeiten beider Felder, dafs eben nur negative Nachbilder 389
zu Stande kommen.

Man kann sich nun leicht davon überzeugen, dafs der successive Contrast, d. h. der durch Nachbilder verursachte, auch dann eine grofse Rolle spielt, wenn man farbige Felder, die neben einander im Gesichtsfelde stehen, mit einander vergleicht. Man hat in diesen Fällen meist nur simultanen Contrast zu sehen geglaubt, weil man bisher eine gewisse Eigenthümlichkeit des menschlichen Blicks in der Lehre vom Contraste wenig beachtet hat. Bei dem gewöhnlichen bequemen Gebrauche unserer Augen pflegen wir nämlich den Fixationspunkt fortdauernd langsam im Gesichtsfelde wandern zu lassen, so dafs er nach einander über die verschiedenen Theile der betrachteten Objecte hingleitet. Dieses Wandern des Blicks geschieht unwillkürlich, und wir sind so daran gewöhnt, dafs es eine aufserordentliche Anstrengung und Aufmerksamkeit erfordert, auch nur 10 bis 20 Secunden lang den Blick ganz scharf auf einen bestimmten Punkt des Gesichtsfeldes zu fixiren. So wie wir das thun, treten auch sogleich ungewöhnliche Erscheinungen ein. Es entwickeln sich nämlich scharf gezeichnete negative Nachbilder der Objecte, die, so lange der Blick festgehalten wird, mit den Objecten zusammenfallen, und diese deshalb schnell undeutlich werden lassen. Deshalb tritt denn auch bald das Gefühl von Blendung und Anstrengung des Auges ein, so lange wir bei der Fixation des Gesichtspunktes beharren, der Trieb das Auge zu bewegen wird immer unwiderstehlicher und die kleinen Schwankungen seiner Stellung, welche ungeachtet unserer Anstrengung eintreten, verrathen sich dadurch, dafs an den Rändern der Objecte bald rechts, bald links Theile der entstandenen negativen Nachbilder aufblitzen. Auch ist diese Wanderung des Blickes, wodurch auf sämmtlichen Theilen der Netzhaut ein fortdauernder Wechsel zwischen stärkerer und schwächerer Erregung und zwischen den verschiedenen Farben unterhalten wird, offenbar von grofser Bedeutung für die ungestörte Gesundheit und Leistungsfähigkeit des Sehnervenapparats. Denn nichts greift das Auge so an, als wenn man häufig negative Nachbilder durch langes Hinstarren nach selbst nur mäfsig beleuchteten Flächen entwickelt. Starke negative Nachbilder sind ja immer Zeichen hoch gesteigerter Ermüdung der Netzhaut.

Überlegen wir nun, was geschieht, wenn bei diesem Wandern des Blicks verschieden farbige oder verschieden helle Felder im Gesichtsfelde liegen. Wenn wir ein begrenztes farbiges Feld mit genauer Fixation des Blicks auf einen Punkt desselben betrachten, entwickelt sich ein scharf begrenztes Nachbild, welches deshalb eben leicht zu erkennen ist. Wenn wir hinter einander zwei verschiedene Punkte des Objects eine Zeit lang fixirt haben, bilden sich zwei gut begrenzte Nachbilder aus, die sich zum Theil decken, aber schon nicht mehr so leicht, ohne besondere Aufmerksamkeit als Abbilder des Objects erkannt werden. Ist aber der Blick langsam über den Gegenstand hingegangen, ohne irgendwo anzuhalten, so ist das Nachbild natürlich nur ein verwaschener Fleck, und wird, obgleich es für den aufmerksamen

Beobachter wirklich da ist, schon nicht mehr so leicht erkannt. Geht nun der Blick auf ein anderes benachbartes Feld von anderer Farbe über, so
390 wird diese Farbe natürlich durch den Einflufs des Nachbildes verändert, gerade so als hätten wir nach einander in demselben Theile des Gesichtsfeldes diese verschiedenen Farben gehabt. Wir haben also in einem solchen Falle nicht simultanen Contrast, oder wenigstens diesen nicht allein, sondern wir haben auch hier successiven Contrast, und die Erscheinungen sind ganz oder grofsentheils identisch mit den im vorigen Paragraphen beschriebenen. Um allein simultanen Contrast zu haben, müssen wir nothwendig besonders dafür sorgen, dafs während des Versuchs der Blick ganz streng fixirt sei.

Wir werden die Erscheinungen des reinen simultanen Contrastes, welche bei strenger Fixation des Blicks bestehen bleiben, später genauer untersuchen. Zunächst will ich noch die Erscheinungen beschreiben, die zum Theil dem simultanen Contraste, gröfstentheils aber dem successiven angehören, wie sie bei dem gewöhnlichen unbefangenen Gebrauche des Auges sich zeigen. Die Farbenänderungen, welche dabei eintreten, sind genau dieselben, welche ich schon für den reinen successiven Contrast beschrieben habe. Sie sind im Allgemeinen viel deutlicher und auffallender als die des reinen simultanen Contrastes, und wo beide verschiedene Resultate herbeiführen könnten, überwiegen bei dem unbefangenen Gebrauche des Auges stets die des successiven Contrastes; wo beide die gleichen Wirkungen hervorbringen, werden die Farbenveränderungen stets viel bedeutender, wenn man von der Fixation des Blickes zur Wanderung desselben übergeht.

Im Allgemeinen ist es vortheilhaft für die Contrastwirkungen, wenn die inducirende Farbe lichtstärker ist, als die reagirende, weil dann die Nachbilder jener lebhafter und anhaltender sind. Legt man also z. B. auf einen farbigen Papierbogen einen kleinen Kreis von weifsem Papier, so wird dies Weifs complementär gefärbt. Die Färbung ist aber auffallender, wenn man statt Weifs Grau nimmt, oder selbst Schwarz, da alles Schwarz bei diesen subjectiven Versuchen als ein dunkles Grau zu betrachten ist. Doch ist ein mittleres Grau in der Regel vortheilhafter für den Versuch als Schwarz. Die Contrastwirkung kann in solchen Fällen so weit gehen, dafs eine ziemlich lebhafte Farbe in die complementäre umgekehrt wird. Legt man z. B. auf eine rothe Glasscheibe ein kleines Stück orangerothes Papier (mit Mennige gefärbt) und hält dies gegen den hellen Himmel, so erscheint das röthliche Papier lebhaft grünblau, in der Complementärfarbe des rothen Glases, die nahehin auch seine eigene ist.

Ferner ist es vortheilhaft, wenn die inducirende Farbe einen grofsen Theil des Gesichtsfeldes bedeckt, weil dann die verschiedenen Netzhautstellen häufig und anhaltend von dieser Farbe getroffen und durch sie ermüdet werden. Die Contrastfarben sind deshalb besonders lebhaft, wenn die reagirende Farbe ein kleines Feld einnimmt, welches rings umgeben ist von einem ausgedehnten Grunde, der mit der inducirenden Farbe gefüllt ist. In diesem Falle wird hauptsächlich nur die Farbe des kleinen Feldes verändert, nicht

die des grofsen. Aber die Contrastwirkungen fehlen auch nicht, wenn die beiden Felder gleich grofs sind, dann ist der Einflufs ein gegenseitiger, und die Farbe eines jeden von beiden wird durch die Farbe des anderen geändert.

Endlich ist die Contrastwirkung desto grösser, je näher das inducirende 391
Feld dem reagirenden im Gesichtsfelde liegt, weil, wenn der Blick von dem einen zum anderen Felde hinübergleitet, das Nachbild desto stärker entwickelt ist, je schneller er das andere Feld trifft. Dies zeigt sich sehr deutlich bei der Anordnung, welche Chevreul für seine Versuche gewählt hat. Er schneidet von jeder der beiden Farben z. B. Gelb und Roth zwei Streifen zurecht, legt dann einen gelben und einen rothen Streifen dicht neben einander. Diese wollen wir bezeichnen mit $G_1$ und $R_1$. Dann legt er neben den gelben Streifen $G_1$ in kurzem Abstande einen zweiten gelben $G_2$ und ebenso neben den rothen $R_1$ einen zweiten $R_2$. Die Contrastwirkung macht sich dann nur an den beiden mittleren Streifen $G_1$ und $R_1$ merklich. Das Gelb von $G_1$ wird grünlich, indem es sich dem zu $R_1$ complementären Blaugrün nähert, und $R_1$ erscheint purpurn, indem sich etwas Indigblau, die Complementärfarbe von $G_1$, zumischt. Dagegen erscheinen die beiden seitlichen Streifen $G_2$ und $R_2$ in unveränderter Färbung, und man hat dadurch gute Gelegenheit, die Contrastwirkung zu erkennen. Eben davon hängt es nun auch ab, dafs, wenn etwas breitere Felder an einander stofsen, die Contrastfärbung namentlich an den Rändern hervortritt. Jedes Mal, wo der Blick von dem einen Felde $A$ auf das andere $B$ hinübergleitet, sind diejenigen Theile der Netzhaut, welche eben das Feld $A$ verlassen, am meisten durch die Farbe $A$ ermüdet, auf diese fällt nun das Bild der Randtheile von $B$. Weniger ermüdet sind diejenigen Netzhauttheile, welche etwas früher $A$ verlassen haben, und schon weiter in das Feld $B$ hineingerückt sind. Diesen erscheint deshalb die inducirte Farbe schwächer. So folgt, dafs jedes Mal, wo der Blick zum Felde $B$ übergeht, die Randtheile von $B$ am meisten durch den Contrast verändert sind, die weiter vom Rande entfernten Theile im Verhältniss ihrer Entfernung weniger. Stöfst also z. B. ein grünes und ein blaues Feld aneinander, so erscheint der Rand des Grün etwas gelblicher als die Mitte, der Rand des Blau etwas violetter als seine Mitte, weil dort das dem Blau complementäre Gelb sich zumischt, hier das dem Grün complementäre Purpurroth. Man kann das Spiel der Nachbilder am Rande solcher Flächen sehr gut beobachten, wenn man sich eine Reihe von Fixationspunkten bezeichnet, und den Blick nur springend bewegt, indem man ihn eine kurze Zeit auf jedem Fixationspunkte festhält. Dann sieht man deutlich die wohlbegrenzten Nachbilder sich auf das andere Feld hinüberschieben. Die älteren, weiter vorgeschobenen sind blasser, die neuesten, welche dem Rande am nächsten bleiben, sind stärker.

Handelt es sich nicht um Unterschiede der Farbe, sondern der Helligkeit, so findet man, dafs die Helligkeit des reagirenden Feldes neben einem helleren inducirenden vermindert erscheint, neben einem dunkleren dagegen vergröfsert.

Übrigens wird bei diesen Versuchen das Hervortreten der Complementärfarbe noch durch andere Umstände begünstigt, gegenüber den Methoden, negative Nachbilder zu sehen, welche im vorigen Paragraphen beschrieben sind. Während nämlich im Allgemeinen nöthig ist, ein farbiges Object absichtlich mehrere Secunden zu fixiren, um ein deutliches Nachbild von einiger Dauer nachher auf einem gleichmäfsig gefärbten Grunde zu erhalten, so zeigt es sich bei den Versuchen über Contrast, dafs nur eine ziemlich flüchtige
392 Betrachtung der einen Farbe genügt, um die complementäre Farbe auf dem anderen Felde zu induciren, und dafs diese complementäre Farbe nachher viel dauernder ist, als es ein unter gleichen Umständen gewonnenes Nachbild sein würde. Um auf einem gleichmäfsig gefärbten Grunde ein Nachbild zu erkennen, mufs dieses gut entwickelt und gut begrenzt sein. Es bewegt sich mit dem Blicke hin und her, giebt sich dadurch gleich als eine subjective Erscheinung zu erkennen, und wir sind für gewöhnlich daran gewöhnt, unsere Aufmerksamkeit nur den objectiven Gesichtserscheinungen zuzuwenden. Wenn dagegen ein verwaschenes Nachbild ein kleineres gefärbtes Feld bedeckt, welches seine objective Begrenzung hat, und immer unter dem Einflufs des Nachbildes erscheint, so kann dieser Einflufs nicht unmittelbar in der Anschauung von den übrigen objectiven Erscheinungen des Gesichtsfeldes getrennt werden, und wird deshalb viel leichter ein Gegenstand unserer Aufmerksamkeit. Im dritten Abschnitte werden wir die hier erwähnte Eigenthümlichkeit unserer Aufmerksamkeit näher zu besprechen haben.

Dazu kommt, dafs die Ermüdung der Netzhaut bei den hier betrachteten Contrasterscheinungen immer wieder erneuert wird, und die Wirkung deshalb anhaltend ist, während sie bei den meisten Methoden Nachbilder zu erzeugen ziemlich schnell vergeht.

Wir wenden uns nun zu den *Erscheinungen des reinen simultanen Contrastes*. Um diese als solche sicher erkennen zu können, mufs bei der Anordnung der Versuche dafür gesorgt werden, dafs keine Nachbilder entstehen können, dafs der Theil der Netzhaut, welcher die inducirte Farbe empfinden soll, vorher auch nicht vorübergehend von dem Bilde des inducirenden Feldes getroffen wird. Vollständig kann dies in der Regel nur erreicht werden, wenn man die inducirende Farbe erst sichtbar macht, nachdem sich das Auge auf einen bestimmten Punkt des inducirten Feldes festgeheftet hat. Diesen Punkt mufs es dann auch während der ganzen Dauer des Versuchs festhalten. Ist die inducirende Farbe nicht zu lichtstark oder zu gesättigt, so genügt es auch, die Augen, welche auf dunkeln wenig gefärbten Gegenständen herumgewandert sind, oder geschlossen waren, schnell auf das inducirte Feld zu richten, und dann einen Punkt von diesem festzuhalten, ohne vorher den Blick auf dem inducirenden verweilen zu lassen. Diese letztere Methode genügt namentlich deshalb in den meisten Fällen, weil die hierher gehörigen Contrasterscheinungen sich gerade bei schwachen Farbenunterschieden des inducirenden und inducirten Feldes am deutlichsten

zeigen, während umgekehrt die Erscheinungen des successiven Contrastes
durch starke Gegensätze der Farbe und Beleuchtung begünstigt werden.

Übrigens ist zu bemerken, dafs bei sehr dauernder starrer Fixirung „
auch auf sehr schwach gefärbten Feldern sich Nachbilder entwickeln, wie ich
schon auf S. 511 beschrieben habe, welche den Gegensatz der Farben gänz-
lich auslöschen und damit auch den Contrast, übrigens bei gelegentlicher
Wendung des Blicks deutlich sichtbar werden, so dafs man bei den Ver-
suchen über simultanen Contrast überhaupt nur kurze Beobachtungszeit an-
wenden darf.[1]

Die hierher gehörigen Erscheinungen scheinen mir von ganz anderer 392
Art zu sein, als die bisher betrachteten. Sie lassen sich im Allgemeinen
charakterisiren als Fälle, in denen eine genaue Beurtheilung der reagirenden
Farbe durch Vergleichung mit anderen als der inducirenden nicht möglich
ist. In solchen Fällen sind wir geneigt, *diejenigen Unterschiede,
welche in der Anschauung deutlich und sicher wahrzunehmen
sind, für gröfser zu halten als solche, welche entweder in der
Anschauung nur unsicher heraustreten, oder mit Hülfe der Er-
innerung beurtheilt werden müssen.* Es ist dies wohl ein allgemeines
Gesetz bei allen unseren Wahrnehmungen. Ein Mensch mittlerer Gröfse 393
neben einem sehr grofsen sieht klein aus, weil wir im Augenblick deutlich
sehen, dafs es gröfsere Menschen giebt, aber nicht, dafs es auch kleinere
Menschen giebt. Derselbe Mensch mittlerer Gröfse, neben einen kleinen ge-
stellt, wird grofs aussehen.

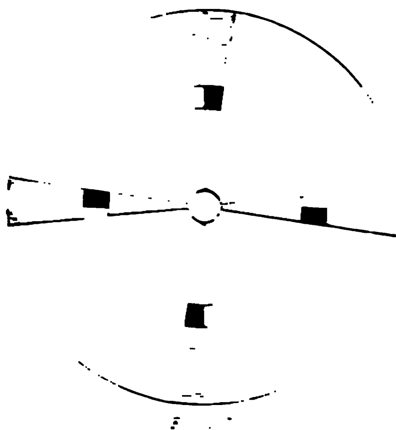
In der Lehre von den Wahrnehmungen werden wir noch vielen Fällen „
ähnlicher Art begegnen.

Die Bedingungen, welche erfüllt werden müssen, um eine sehr genaue Wahrnehmung der Farbenunterschiede und Helligkeitsunterschiede zwischen zwei verschiedenen an einander stofsenden Flächenstücken des Gesichtsfeldes zu erreichen, sind § 16 bei den Methoden der Photometrie erörtert worden. Es geschieht dies, wie wir gesehen haben, am sichersten, wenn beide im Gesichtsfelde ganz dicht an einander stofsen, und ihre Grenze durch nichts weiter als ihren Farbenunterschied bezeichnet ist. Selbst der feinste, eben noch sichtbare Schattenstrich zwischen ihnen macht die Vergleichung unsicherer. Um so gröfser wächst die Unsicherheit, wenn breitere Felder mit grofsen Unterschieden der Beleuchtung sich zwischen die zu vergleichenden einschieben, und am aller unsichersten wird die Vergleichung, wenn ein gegenwärtiger Eindruck mit dem Gedächtnifsbilde eines früheren verglichen werden mufs. Und eben die leicht beobachtbare und zweifellos constatirte Thatsache, dafs die besprochenen Bedingungen für die möglichst genaue Ausführung einer photometrischen Messung eingehalten werden müssen, zeigt doch deutlich an, dafs, wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind, die Vergleichung

[1] Ich gebe zu, dafs einige meiner früheren Versuche durch diesen Umstand beeinflufst sein können, und lasse deshalb einige Versuche der früheren Auflage fort, die nicht in hinreichend kurzer Zeit ausgeführt werden können.

einer Farbe oder Helligkeit mit einer anderen, beziehlich mit dem, was wir als das Muster derselben betrachten, an das sich ihr Namen nach gewöhnlichem Sprachgebrauch heftet, nothwendig mit einem gröfseren oder geringeren Grade von Unsicherheit behaftet ist, und dafs wir uns nicht wundern dürfen, wenn wir in solchen Fällen Irrthümer in der Abschätzung des betreffenden Farbeneindrucks begehen, die sich als solche erkennen lassen, wenn man die Vergleichung unter besseren Bedingungen ausführt. Diese Unsicherheit aber empfinden wir nicht als solche, sondern jeder gegenwärtige Gesichtseindruck erscheint uns, so lange wir ihn vor uns haben, als ganz bestimmt. Dafs wir also bei unsrer Abschätzung der Gleichheit oder Ungleichheit dieses Farbeneindrucks mit irgend einem bestimmten Muster, was wir im Sinn haben, Irrthümer begehen, ist durchaus nicht verwunderlich. Was einer Erklärung bedarf, ist eigentlich nur der Umstand, dafs diese Irrthümer in der Mehrzahl der Fälle in einem bestimmten Sinne ausfallen und nicht regellos hin- und herschwanken. Die Überschätzung der deutlichen Unterschiede scheint mir hier das meist entscheidende Motiv zu sein. Daneben scheinen aber auch gelegentlich andere Momente, welche aus den Erfahrungen über die Erscheinungsweisen von Körperfarben genommen sind, unsere Schatzung der gesehenen Farben zu beeinflussen.

Einer der Fälle, der von solchen anderen Einflüssen leicht frei gehalten [illegible] werden kann, läfst sich auf Farbenkreiseln herstellen, wenn man in einer Scheibe wie *Fig. 1[illegible]* schmale farbige Sectoren auf weifsen Grund setzt, sie aber in mittlerer Entfernung vom Mittelpunkte durch einen aus Schwarz und Weifs zusammengesetzten Streifen unterbricht, so dafs beim Umdrehen eigentlich ein grauer ringförmiger Streifen auf schwach gefärbtem weifslichen Grunde entstehen sollte. In der That sieht dieser Ring aber nicht grau, sondern complementär gefärbt aus, und zwar am entschiedensten, wenn er gleiche oder etwas geringere Helligkeit als der Grund hat. [illegible] farbigen Sec- [illegible] die Farbe [illegible] ist die



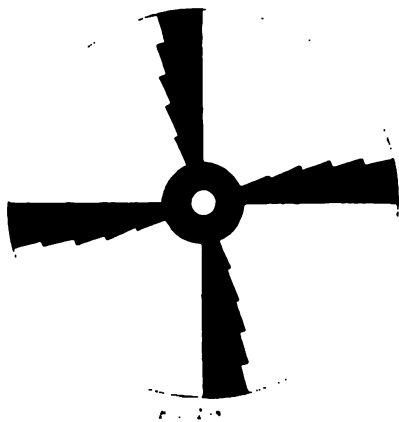
[illegible] schaffer als [illegible] Ring mit [illegible] Grunde ab- [illegible] nicht [illegible] über die [illegible] mit einem [illegible] leicht zu dem [illegible] während ohne

die Kreislinien die complementäre Contrastfarbe sich mit zweifelloser Bestimmtheit der Wahrnehmung aufdrängt.

Deutlich zeigt sich der Contrast auch, wo die inducirte Fläche an entgegen- 412 gesetzten Seiten mit zwei verschiedenen Farben in Berührung tritt. Dann wird jene an den entsprechenden Rändern complementär gefärbt, oder wenn die inducirte Fläche mit einem Rande an eine dunklere, mit dem anderen an eine hellere Fläche stöfst, erscheint der erstere Rand heller, der letztere dunkler. Diese Contrasterscheinungen sind aber ebenfalls nur dann deutlich, wenn das inducirende vom inducirten Felde eben nur durch den Unterschied der Farbe oder der Helligkeit geschieden ist, und keine andere Begrenzung existirt.

Man kann solche Versuche leicht unter einer transparenten Papierdecke ausführen. Man klebe ein Blatt grünen und rosenrothen Papiers zusammen, so dafs man ein Blatt erhält, welches zur Hälfte grün, zur Hälfte rosenroth ist. Am Orte der Grenzlinie zwischen beiden Farben befestige man ein Streifchen grauen Papiers, und lege über das ganze ein ebenso grofses Blatt dünnen Briefpapiers. Es wird nun der graue Streifen, wo er an das Grün stöfst, rosenroth, und wo er an Roth stöfst, grün erscheinen, in seiner Mitte gehen die beiden Farben in einander über durch einen unbestimmten Farbenton, der wohl eigentlich Grau ist, aber doch nicht bestimmt von uns als solches anerkannt werden könnte. Die Erscheinung ist viel lebhafter, wenn die 413 Längsrichtung des grauen Streifen quer zur Trennungslinie der Farben steht. Dann kann der Theil des Grau, welcher in das Grün hineinragt, ebenso lebhaft rosenroth erscheinen, wie der rosenrothe Grund der anderen Seite. Schwächer, aber doch deutlich erkennbar ist die Contrastfarbe, wenn die mittlere Längslinie des grauen Streifen gerade auf der Trennungslinie der Farben liegt. Dann erscheinen die Seitenränder des Grau mit einem schmalen nach der Mitte hin verwaschenen Saume der Complementärfarbe gefärbt.

Ähnliche Wirkungen erhält man, wenn man dünne Papierblätter treppenformig über einander legt, so dafs an dem einen Rande der Papierschicht nur ein Blatt hervorsieht, daran ein Streifen stöfst, wo sich zwei decken, dann drei u. s. w. Läfst man Licht durch eine solche Lage von Blattern scheinen, so ist natürlich innerhalb jeder Stufe die objective Helligkeit constant, doch erscheint jede Stufe dunkler an dem Rande, wo sie an die nächst hellere anstöfst, und heller, wo sie an die nächst dunklere stöfst.


Fig. 198.

Viel schöner und feiner abgestuft lassen sich aber alle diese Erscheinungen auf dem Farbenkreisel hervorbringen. Man gebe den Sectoren des Farbenkreisels die nebenstehende Form der *Fig. 198*, und mache sie

weiſs und schwarz, so erscheinen beim Umdrehen mehrere concentrische Ringe, von denen die äuſseren immer heller sind, als die nächstliegenden inneren. Innerhalb eines jeden solchen Ringes ist die Winkelbreite der schwarzen Flächenstücke constant, also auch die Helligkeit bei schnellem Umdrehen; nur von einem zum anderen Ringe wechselt die Helligkeit. Und doch erscheint jeder Ring nach innen zu, wo sich der nächst dunklere anschlieſst, heller, nach auſsen zu, wo sich der nächst hellere anschlieſst, dunkler. Sind die Helligkeitsunterschiede der Ringe sehr klein, so sieht man zuweilen kaum, daſs die inneren Ringe dunkler als die äuſseren sind, es fällt vielmehr nur der periodische Wechsel von Hell zu Dunkel an den Rändern der Ringe in die Augen.

Nimmt man statt Weiſs und Schwarz verschiedene Farben, so erscheint jeder Ring am äuſseren und inneren Rande verschieden gefärbt, während doch objectiv die Farbe jedes einzelnen Ringes in seiner ganzen Breite dieselbe ist. Jede einzelne von den gemischten Farben tritt an demjenigen Rande jedes Ringes stärker hervor, wo ein anderer Ring anstöſst, der weniger von dieser Farbe enthält. Hat man also z. B. Blau und Gelb gemischt, und überwiegt das Blau in den äuſseren Ringen, Gelb in den inneren, so erscheint jeder Ring am äuſseren Rande gelb, am inneren blau, und wenn die Farbenunterschiede der einzelnen Ringe überhaupt sehr gering sind, kann auch hier wieder die Täuschung eintreten, daſs die wirklich vorhandenen Unterschiede der Farbe der verschiedenen Ringe verschwinden, und die abwechselnd blaue und gelbe Contrastfärbung der Ränder auf einen gleichmäſsig gefärbten Grund aufgetragen zu sein scheint.
414 Sehr bezeichnend ist es auch, daſs in diesen Fällen gewöhnlich die Mischfarbe nicht zur Anschauung kommt, man vielmehr die beiden gemischten Farben getrennt und neben oder durch einander zu sehen glaubt.

Diese so auffallenden Contrastwirkungen verschwinden aber, wenn man die Grenze zwischen je zwei Ringen durch feine schwarze Kreislinien bezeichnet. Dann erscheint jeder Ring, wie er wirklich ist, in seiner ganzen Breite gleich hell und gleich gefärbt. Auch hier ist es wieder von entscheidendem Einflusse, daſs die verschiedenen Felder Theile einer, von der Färbung abgesehen, durchaus continuirlichen und gleichartigen Fläche seien. Auch hier haben wir es also nicht mit Veränderungen der Empfindung, sondern der Abschätzung zu thun. Die Beleuchtungsunterschiede der verschiedenen Theile dieser Fläche werden als die einzigen wahrnehmbaren Unterschiede wieder besonders hervorgehoben, und da diejenigen zweier unmittelbar benachbarter Flächenelemente deutlicher und sicherer wahrnehmbar sind, als die von entfernteren, so drängen sich namentlich die Unterschiede der Beleuchtung längs der Ränder je zweier Felder der Wahrnehmung auf, und erscheinen als die am sichersten und deutlichsten wahrnehmbaren gröſser als die unsicher wahrnehmbaren zwischen je zwei mittleren Theilen zweier Felder. Da in der Mitte jedes Feldes bei den beschriebenen Versuchen kein plötzlicher Sprung der Beleuchtung existirt, welcher wahrgenommen werden

könnte, so mufs der Schein entstehen, dafs die Farbe des einen Randes durch die Mitte des Feldes allmählich in die des anderen übergeht. Macht man aber in der Mitte des inducirten Feldes einen schwarzen Strich, oder legt man ein graues Feld, dessen Hälften ungleich hell und durch eine scharfe Grenzlinie getrennt sind, zwischen zwei farbige, so gehen die complementären Färbungen von jeder Seite her bis an diese Grenzlinie vor, und scheiden sich an dieser. Sind die Farbenunterschiede des inducirten und der inducirenden Felder so grofs, dafs zwischen allen Punkten derselben der Farbenunterschied zweifellos wahrnehmbar ist, so verschwindet die Contrastwirkung, oder wird wenigstens viel zweifelhafter. Findet noch irgend eine andere Abgrenzung des inducirten Feldes statt, so wird der Unterschied seiner Färbung von der des inducirenden viel unsicherer wahrgenommen, und der Contrast schwindet ebenfalls, oder wird schwächer.

Aufserordentlich schlagend zeigt sich die Wirkung schwacher Unterschiede 398
bei einem zuerst von H. Meyer[1] angegebenen Verfahren. Man schneide ein Blatt aus feinem weifsen Briefpapier und eines aus farbigem Papier, z. B. grünem, beide genau gleich grofs, lege beide auf einander, so dafs sie sich genau decken, und schiebe ein Schnitzelchen grauen Papiers dazwischen, welches ebenso dunkel oder dunkler als das grüne ist. Weniger gut ist schwarzes oder weifses Papier. Durch das weifse Papier schimmert das Grün und Grau der Unterlage nur ganz schwach durch, und wo das letztere liegt, erscheint jetzt ein sehr deutliches und starkes Rosaroth. Giebt man der Unterlage eine andere Färbung, so erscheint das graue Schnitzelchen immer in der Complementärfarbe durch das aufgelegte weifse scheinend. Es gelingt häufig die Verhältnisse so zu treffen, dafs die complementäre Contrastfarbe deutlicher hervortritt als die schwache Farbe des Grundes.

Der Einflufs schwächster Grenzlinien ist bei diesen Versuchen sehr auf- n
fällig. Man nehme ein durchscheinendes weifses Papierblatt, und lege es auf ein undurchsichtiges weifses. Oben auf lege man ein Schnitzelchen von hellgrauem Papier, was man durch einen leichten Anflug chinesischer Tusche so weit gefärbt hat, dafs es, wenn es auf dem obersten dünnen weifsen Papierblatt liegt, oder auch dort angeklebt ist, ebenso dunkel erscheint, als ein dunkleres Schnitzelchen, was unter dem durchscheinenden Papier liegt. Alsdann nehme man das undurchsichtige Weifs fort und lege dafür ein farbiges Blatt ein. Dann sieht man von oben die beiden grauen Schnitzel in nahehin gleicher Helligkeit des objectiven Grau. Der optische Unterschied besteht nur darin, dafs das oben liegende durch seine zarten Grenzlinien, die man eben noch erkennt, vom Grunde getrennt ist, während die Grenzlinie des anderen Schnitzel mehr als ein verwaschener Fleck von etwas anderer Farbe als der Grund des deckenden Papiers erscheint. Unter diesen Umständen kommt die complementäre Contrastfarbe auf dem letzteren, bedeckten Schnitzel sehr deutlich zum Vorschein, während sie auf dem oben liegenden

[1] H. Meyer, *Pogg. Ann.* XCV. 170. 1855.

kaum oder gar nicht zu erkennen ist. Diese Form des Versuchs ist besonders bequem, weil man schwache Färbungen durch Nachbilder nicht sehr ängstlich zu vermeiden braucht, da beide gleichfarbige Flecke durch solche, wenn sie sich entwickeln sollten, nahehin gleichmäfsig verändert werden, während der Unterschied, der von der Deutlichkeit der Grenzen abhängt, bestehen bleibt.

Bringt man die beiden grauen Flecke einander sehr nahe, so wird die Contrastwirkung viel schwächer, dann stört offenbar die Gleichheit der beiden Grau, welche man um so sicherer erkennt, je näher sich die beiden Flächen liegen.

Auch kann man den Contrast sehr schwächen, wenn man zwei gleichgefärbte graue Schnitzel zwischen das farbige Papier und das dünne weifse Blatt legt und auf dem deckenden dünnen Papier einen feinen Strich mit Tinte macht, der der Umrifslinie des einen grauen Feldes folgt. Auch dann zeigt das nicht abgegrenzte graue Feld die Contrastfarbe viel deutlicher, als das abgegrenzte.

Besonders deutlich tritt die Contrastfarbe auch hervor, wenn man das Nachbild eines weifsen oder grauen kleinen Feldes, was von farbigem Grunde umgeben ist, auf einen gleichmäfsig weifsen oder grauen Grund wirft. Das Nachbild des weifsen Feldes würde bei Vermeidung allzu starken Lichts kaum gefärbt sein, wenn der umgebende Grund vorher schwarz oder dunkelgrau gewesen wäre. War aber, wie bei dem beschriebenen Versuche, der Grund gefärbt, so erscheint das Nachbild des kleinen weifsen Feldes jetzt gleichfarbig dem früher gesehenen Grunde, während die Umgebung die Farbe seines complementären Nachbildes zeigt. Diese ruft offenbar durch Contrast wieder ihre Complementärfarbe, d. h. die ursprüngliche Farbe des Grundes in dem weifsen kleinen Felde hervor.

Die Bedingungen sind hier besonders günstig für eine ruhige Beobachtung des Contrastes; denn die Grenzen des kleinen grauen Nachbildes sind immer ein wenig verwaschen, ohne scharfe Umrifslinie, und aufserdem stört das Schwanken der Gesichtslinie die Erscheinung gar nicht, weil das Nachbild durchaus fest auf der Netzhaut liegen bleibt.

Der Farbenunterschied zwischen den ursprünglich gesehenen beiden Feldern kann sehr schwach sein; die Erscheinung wird dadurch kaum weniger deutlich. Man erreicht dies z. B., indem man den stark gefärbten Grund mit durchscheinendem weifsen Papier überdeckt und vor diesem das weifse Feld anbringt, welches das weifse Nachbild geben soll.

Contrast bei starken Farbenunterschieden. Ein kleines weifses Feld etwa ein mit einer Pincette gehaltenes Papierschnitzelchen, hinter welchem ein gleich hell beleuchteter Bogen weifsen Papiers weggezogen wird, so dafs an Stelle des letzteren ein ausgedehnter lebhaft gefärbter Grund erscheint, zeigt mir im ersten Moment die Complementärfarbe, aber nur undeutlich und sehr flüchtig. Gleich darauf tritt aber auch die dem Grunde gleichnamige Farbe in schwachen Andeutungen auf dem kleinen Felde auf, oft fleckweise

vertheilt zwischen Stellen, die die Complementärfarbe zeigen. So ist es wenigstens jetzt in meinem 70. Lebensjahre. Die von mir in der ersten Auflage gegebene Beschreibung dieser Erscheinung macht mich glauben, dafs ich damals die Complementärfarbe deutlicher und sicherer gesehen habe. Ich mufs dahingestellt sein lassen, ob meine Augenmedien vielleicht trüber geworden sind, so dafs sie mir mehr objectives Licht von der Farbe des Grundes über das kleine weifse Feld ausbreiten, und dadurch der Contrast gestört wird.

Das reagirende Weifs darf im Allgemeinen nicht zu hell genommen wer- 396
den. Wenn man den Versuch in einem Zimmer anstellt, wo von einer Lampe oder von einer nicht zu grofsen Fensteröffnung her das Licht einfällt, kann man die Helligkeit des weifsen Papiers leicht dadurch verändern, dafs man das Licht mehr oder weniger senkrecht auffallen läfst, und so die passende Helligkeit auffinden. Eine mittlere Helligkeit des Weifs, welche ungefähr eben so grofs ist, wie die des farbigen Grundes, ist am vortheilhaftesten. Ist das Weifs zu hell, oder andererseits zu stark beschattet, so dafs es sich dem Schwarz nähert, so sind die Contrastfarben minder deutlich oder fehlen ganz. Je mehr die farbige Fläche vom Gesichtsfelde einnimmt, desto heller kann das Weifs gemacht werden. Wenn man sich mit dem Auge von den Objecten entfernt, und deren scheinbare Gröfse also kleiner wird, so wird die inducirte Farbe schwächer oder schwindet ganz. Ebenso schwindet sie bei anhaltendem Fixiren, und verwandelt sich in die der inducirenden Farbe gleiche, auch desto leichter, je kleiner die scheinbare Gröfse des inducirten Feldes ist, je stärker dieses beleuchtet ist, und je dunkler das inducirte Feld ist. Läfst man das letztere aus einem schwarzen Scheibchen bestehen, und bringt dieses vor eine farbige Glasplatte, welche in einer Oeffnung des Fensterladen befestigt ist, so dafs man die lichte Himmelsfläche hindurchsieht, so ist häufig von Anfang an die schwarze Scheibe mit der Farbe des Glases überzogen, vorausgesetzt, dafs man Nachbilder vermeidet. Ich finde hierbei keinen Unterschied der verschiedenen Farben als den, dafs die käuflichen rothen Gläser dunkler zu sein pflegen als die gelben, grünen und blauen, und daher für das Roth eine gröfsere Lichtstärke, z. B. die von sonnenhellen Wolken nöthig ist, um die gleiche Farbe von Anfang an zu erzeugen. Bei den blauen Gläsern, welche auch bei ziemlich dunkler Färbung die Erscheinung zeigen, könnte wohl auch die Fluorescenz der Linse und Hornhaut dazu beitragen, blaues Licht über die dunkle Scheibe zu verbreiten. Nach kurzem Fixiren tritt immer die gleiche Farbe ein, und nur am Rande des schwarzen Feldes zeigt sich der von Schwankungen der Gesichtslinie herrührende complementäre Saum.

Wenn wir zunächst von den Fällen absehen, wo die inducirte Farbe der inducirenden gleich ist, so können wir das Hauptresultat der beschriebenen Versuche auch so ausdrücken: „Wenn im Gesichtsfelde eine besondere Farbe überwiegend verbreitet ist, so erscheint uns eine weifslichere Abstufung desselben Farbentons als Weifs, und wirkliches Weifs als complementär ge-

färbt.“ Es wird also die Norm dessen, was wir Weifs nennen, dabei verändert. Nun ist die Empfindung des Weifs keine einfache Empfindung, sondern in einem bestimmten Verhältnisse zusammengesetzt aus den Empfindungen
397 der drei Grundfarben. Um nun in einem bestimmten Falle eine gegebene Farbe als Weifs anzuerkennen, wenn uns die Möglichkeit fehlt, sie mit anderem Weifs zu vergleichen, welches als solches anerkannt ist, müssen wir das Intensitätsverhältnifs der drei darin enthaltenen Grundfarben als verändert oder unverändert wieder erkennen. Die Vergleichung der Intensität verschiedener Farbenempfindungen ist aber, wie wir in § 21 gesehen haben, eine höchst unsichere und ungenaue. Es kann also auch die darauf beruhende Bestimmung des Weifs keine sehr genaue sein, sondern es werden ziemlich bedeutende Schwankungen in dem, was wir zu verschiedenen Zeiten für Weifs halten, möglich sein, wie wir es denn auch wirklich finden.

In dieser Erklärung liegt auch zugleich der Grund, warum die Schwankungen der Vorstellung des Weifs nicht so weit gehen, dafs wir eine gesättigte Farbe, z. B. das Roth der mit Kupferoxydul gefärbten Gläser, welche nur Licht vom rothen Ende des Spectrum hindurchlassen, jemals für Weifs halten sollten, selbst wenn wir uns längere Zeit in einem Raume befinden, welcher sein Licht nur durch ein solches Glas empfängt. In der That sind wir nicht im Zweifel, wenn wir sehr lichtstarkes Roth mit lichtschwachem Blau vergleichen, welche Farbe die hellere sei. Über grofse Unterschiede entscheiden wir sicher auch aus der Erinnerung, nicht aber über kleine. Wenn also dem Auge homogenes Licht dargeboten wird, und die Empfindung der rothen Grundfarbe daher sehr intensiv ist, im Vergleich zu den Empfindungen der beiden anderen Grundfarben, so erkennen wir ohne Bedenken die Farbe als Roth an. Wir thun dies auch noch, wenn die Empfindung des Roth durch Ermüdung des Auges schon sehr bedeutend abgeschwächt ist. Wohl aber können wir unter solchen Umständen ein etwas weifsliches, aber noch immer ziemlich gesättigtes Roth für Weifs halten, wie in dem oben beschriebenen Versuche, wo ein mennigrothes Papier vor einem stark erleuchteten rothen Glase grünlich erscheint.

Noch auf einen anderen Umstand mufs ich aufmerksam machen, der in einem solchen Falle vor allzu grofsen Irrthümern schützt. Es ist dies das Eigenlicht der Netzhaut, welches nach einiger Zeit bei wanderndem Blicke complementär zur herrschenden Farbe erscheint, und sich auf allen ganz dunkeln Stellen des Gesichtsfeldes merklich macht. Wenn wir anhaltend durch ein rothes Glas sehen, erscheinen bald alle ganz dunkeln Objecte lebhaft grün. Neben dem Roth wird also seine Complementärfarbe sichtbar, und wir werden dadurch gezwungen, das Roth als Roth anzuerkennen, wir können es nicht mit Weifs verwechseln. Bei herrschender weifser Beleuchtung erscheint der Nebel auf den dunkeln Stellen weifs, und wird eben deshalb nur bei genauer Aufmerksamkeit bemerkt. Selbst bei schwächer gefärbtem Licht, z. B. bei einer Lampe oder Kerze, macht sich das Eigenlicht der Netzhaut in dieser Weise bemerklich. Man braucht nur vor eine weifse

von der Kerze beleuchtete Papierfläche einen schmalen schwarzen, ganz unbeleuchteten Gegenstand zu halten, und den Blick über ihn und die Papierfläche wandern zu lassen, so erkennt man bald den indigblauen Schein auf dem Schwarz, welcher dem Rothgelb des Kerzenlichts complementär ist. Weifses Papier bei Kerzenbeleuchtung erscheint ebenso gut weifs, wie bei Tageslicht. Blickt man aber durch eine innen geschwärzte Röhre, welche 398
nur eine kleine Öffnung hat, nach dem Papier, und vergleicht das Aussehen des kleinen Theils der Papierfläche, den man noch sieht, mit dem dunkeln Felde, so erkennt man bald, dafs jenes rothgelb ist, letzteres bläulich erscheint, während bei Tageslicht sich kaum ein solcher Unterschied zeigt. Dies ist ein Mittel, um die Farbe der herrschenden Beleuchtung zu erkennen, selbst wenn man kein Tageslicht zur Vergleichung herbeischaffen kann.

Eine genaue Bestimmung des Weifs, bei verbreiteter farbiger Beleuchtung kann aus der Vergleichung mit dem Eigenlichte des Auges natürlich nicht hervorgehen, weil das letztere zu schwach und nicht rein weifs ist.

Wenn wir also eine beschränkte Anzahl farbiger Objecte im Gesichtsfelde haben, so sind wir viel besser im Stande, die relativen Unterschiede der vorhandenen Farben unter einander und von ihrem Mittel zu bestimmen, als den Unterschied dieses Mittel vom Weifs. Nun ist bei der normalen Beleuchtung durch Tageslicht, und wenn wir eine grofse Mannigfaltigkeit von Objecten frei vergleichen können, das Weifs des Sonnenlichts die Mittelfarbe, von der aus wir die Abweichungen der übrigen Farben nach den verschiedenen Richtungen der Farbentafel hin beurtheilen. Ist aber eine andere Farbe $A$ herrschend, so dafs das Mittel aller gleichzeitig angeschauten Farben sich der Farbe $A$ nähert, so sind wir geneigt, dieses Mittel als den Ausgangspunkt unserer zeitweiligen Farbenbestimmungen zu benutzen, und es mit Weifs zu identificiren.

Ein weiterer sehr günstiger Fall für die Erscheinungen des simultanen n
Contrastes sind die farbigen Schatten. Diese haben unter allen Contrasterscheinungen zuerst und am meisten die Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Die leichteste Art, sie zu beobachten, ist die, dafs man ein Blatt Papier 393
von entgegengesetzten Seiten her gleichzeitig mit abgeschwächtem Tageslicht und mit Kerzenlicht beleuchtet. Das Tageslicht, d. h. weifses Licht, welches vom bewölkten Himmel, oder von einer von der Sonne beschienenen weifsen Fläche, oder auch vom Monde kommt, lasse man durch eine nicht zu breite 394
Öffnung einfallen, damit es deutliche Schatten werfen könne. Dann stelle man auf das Papier irgend einen Körper (Finger, Bleistift), welcher Schatten wirft. Man wird zwei Schatten erkennen. Ich nenne Schatten des Tageslichts denjenigen, welcher auch, wenn die Kerze fehlte, da sein würde, und Schatten des Kerzenlichts denjenigen, dessen Dasein von der Anwesenheit der Kerze abhängt. Der Schatten des Tageslichts ist beleuchtet von rothgelbem Kerzenlicht, aber nicht von Tageslicht. Er erscheint in seiner objectiven Färbung, nämlich rothgelb. Der Schatten des Kerzenlichts wird von dem weifsen Tageslichte, nicht aber von dem rothgelben Kerzenlichte

beleuchtet. Er ist also objectiv weifs, erscheint aber blau, complementär zur Farbe des Grundes, welche ein weifsliches Rothgelb ist, da die nicht beschatteten Theile des Papiers gleichzeitig von dem weifsen Tageslichte und dem rothgelben Kerzenlichte beschienen sind. Die Färbungen sind am deutlichsten, wenn man die Stärke beider Lichtquellen so abgleicht, dafs die Schatten beider gleich dunkel sind.

Das Blau im Schatten des Kerzenlichts wird lebhafter, wenn man den Blick häufig über den rothgelben Grund wandern läfst, aber es entsteht auch ganz ohne Vermittelung von Nachbildern. Man merke und bezeichne sich irgend einen Punkt *a*, der in dem blauen Schatten liegt, setze vor die Kerze einen undurchsichtigen Schirm, lasse eine Weile nur Tageslicht auf das Papier fallen, bis die Nachwirkung des rothgelben Lichts vollständig erloschen ist, und das Tageslicht wieder vollkommen weifs erscheint. Nun fixire man den Punkt *a* und ziehe den Schirm vor der Kerze weg. Sogleich färbt sich nun der Schatten des Kerzenlichts blau, und bleibt blau, wenn auch nicht die kleinste Schwankung des Blicks erfolgt ist. Ferner tritt auch die Contrastfarbe im Schatten sogleich auf, wenn man die Augen eine Weile schliefst und bedeckt, und sie dann plötzlich öffnend nach den Schatten hinwendet.

Man nehme eine innen geschwärzte Röhre, und gebe ihr eine solche Stellung, dafs, wenn man hindurchsieht, das Auge nur Stellen des Papiers erblickt, welche im Schatten des Kerzenlichts liegen. Läfst man nun zuerst nur Tageslicht einfallen, blickt dann durch die Röhre, und läfst alsdann auch das Kerzenlicht einfallen, so sieht der Beobachter nichts von den mit Kerzenlicht beleuchteten Stellen, er bemerkt dessen Anwesenheit gar nicht, und das Aussehen der Stelle des Papiers, welche er durch die Röhre sieht, bleibt unverändert. Es folgt daraus, was hier bemerkt werden mag, da es von Osann bezweifelt wurde, dafs objectiv die Farbe des Papiers im Schatten des Kerzenlichts nicht verändert wird.

395 Statt der rothgelben natürlichen Farbe des Kerzenlichts kann man nun auch andere Farben anwenden. Das Kerzenlicht kann man färben, indem man farbige Gläser vor die Kerze setzt, und so gefärbtes Kerzenlicht entweder mit Tageslicht oder mit ungefärbtem Kerzenlicht combinirt. Am glänzendsten werden die Erscheinungen aber, wenn man die Versuche in einem dunkeln Zimmer anstellt, und durch eine Öffnung des Ladens, die mit einem farbigen Glase gedeckt ist, gefärbtes Sonnenlicht eintreten läfst, durch eine andere kleine Öffnung weifses Tageslicht. In allen diesen Fällen erscheint das weifse Licht sowohl bei fixirtem, als auch, und zwar viel stärker, bei wanderndem Blick complementär zu dem farbigen gefärbt.

Die complementäre Farbe erscheint bei wanderndem Blicke sogar auch auf ganz schwarzen Flächen und auf Flächen, die schwach mit der herrschenden Farbe beleuchtet sind. Bei fixirtem Blicke erscheint eine dunkle Fläche bald complementär, bald gleichfarbig. Bei schwächerem Lichte gewöhnlich ersteres, bei stärkerem Lichte letzteres, jedenfalls wird sie aber nach einiger Dauer der Fixation gleichfarbig dem herrschenden Lichte, während nur an

den Rändern bei den unvermeidlichen Schwankungen der Gesichtsaxe hin und wieder die Complementärfarbe aufblitzt. So wie man den Blick wandern läſst, kommt die Complementärfarbe immer zu Stande, oder wird glänzender, wenn sie schwach schon vorher da war.

Die Complementärfarbe kommt sogar dann zum Vorschein, wenn man das Licht durch zwei Gläser von derselben Farbe gehen läſst, wovon aber das eine schwächer gefärbt ist als das andere, oder wenn man zwei gleiche Gläser anwendet, aber neben dem einen noch weiſses Licht einfallen läſst. In solchen Fällen wird also der Farbenton des weiſslicheren Schatten scheinbar in den entgegengesetzten verwandelt.

Ehe wir die Fälle von Contrast verlassen, bei denen die inducirte Farbe 400
den gröſsten Theil des Gesichtsfeldes einnimmt, müssen wir noch den Grund der zuweilen erscheinenden Färbung des reagirenden Feldes, welche der inducirenden gleichnamig ist, erörtern. Es kommt dies unter zwei Bedingungen vor, erstens nämlich wenn das inducirende Feld eine sehr groſse Lichtstärke hat, zweitens bei langem Fixiren desselben Punktes.

Wenn das inducirende Feld eine sehr groſse Lichtstärke hat, halte ich das Auftreten der gleichnamigen Färbung im reagirenden Felde nicht für eine subjective Erscheinung, sondern für eine Ausbreitung objectiven Lichts. Jede feste und flüssige durchsichtige Substanz, welche wir kennen, zerstreut kleine Mengen des Lichts, welches durch sie hindurchgeht, nach allen Seiten hin, und erscheint deshalb, wenn starkes Licht durch sie hingeht, selbst schwach erleuchtet. Daſs dies auch mit der Hornhaut und der Krystalllinse des Auges der Fall ist, haben wir schon oben (§ 14, S. 142) erwähnt. Man denke ferner an die entoptischen Objecte des Glaskörpers, welche nothwendig das durchgehende Licht theilweis von seinem Wege ablenken müssen, man denke daran, daſs Licht von den erleuchteten Stellen der Netzhaut nach den übrigen Theilen des Augengrundes hin reflectirt wird, so ergiebt sich, daſs wenn eine gröſsere Menge Licht in das Auge eindringt, immer merkliche Mengen davon über einen gröſseren oder kleineren Theil des Augengrundes ausgebreitet sein werden. Am deutlichsten zeigt sich diese Beleuchtung durch diffuses Licht bei der zweiten in § 15 beschriebenen Methode, die Gefäſse der Retina sichtbar zu machen, indem man eine Kerzenflamme unterhalb des Auges hin und her bewegt. In dem Lichtnebel, welcher hierbei den Grund des Auges ausfüllt, erscheinen die Schatten der Netzhautgefäſse; die Beleuchtung ist also jedenfalls eine objective, und nicht blos eine Ausbreitung der Lichtempfindung in der Netzhaut.

Nun kann man sich bei objectiven Versuchen mit Glaslinsen leicht überzeugen, daſs das diffus zerstreute Licht immer am stärksten in der Nähe des regelmäſsig gebrochenen Lichtbündels ist, und schwächer wird, je weiter man sich von diesem entfernt. Läſst man Sonnenlicht durch die Öffnung eines schwarzen Schirms auf eine entfernte Linse fallen, und fängt das Bild der hellen Öffnung auf einem weiſsen Schirme auf, so sieht man das helle Bildchen von einem weiſsen Nebelschein umgeben, der auch sichtbar wird, wenn man

das Bild der hellen Öffnung selbst dicht am Rande des Schirms vorbeigehen läfst. Jener weifse Nebelschein ist also keine im Auge entstehende Irradiation, sondern eine objective Erscheinung. Noch besser sieht man es, wenn man in den Schirm eine kleine Öffnung macht, die man dem Bilde der hellen
401 Öffnung nahe bringt, ohne sie aber damit zusammenfallen zu lassen. Blickt man durch die Öffnung des Schirmes nach der Linse, so erscheint diese desto heller erleuchtet, je näher man dem optischen Bilde der Lichtquelle kommt. Ein ganz entsprechendes Phänomen entsteht im Auge. Wenn man eine Lichtflamme vor einem sehr dunkeln Felde sieht, z. B. vor der geöffneten Thür eines ganz dunkeln Raumes, so erscheint die Flamme von einem weifslichen Nebel umgeben, der in ihrer unmittelbaren Nähe am hellsten ist. Man bemerkt diesen Lichtschein am besten, wenn man einen kleinen undurchsichtigen Körper zwischen das Auge und die Flamme bringt, so dafs diese nicht mehr gesehen wird. Augenblicklich verschwindet auch der Lichtnebel vor dem Grunde, und man sieht diesen in seiner eigenthümlichen Schwärze. Ist das Licht farbig, so ist natürlich auch der zerstreute Lichtnebel von derselben Farbe. Ich glaube auch in diesem Falle nicht zweifeln zu dürfen, dafs dieser Lichtnebel von der Zerstreuung objectiven Lichts herrührt, da die Vertheilung des Lichts ganz dieselbe ist, welche ein System Glaslinsen unter denselben Umständen geben würde. Aber allerdings fehlt hier der Nachweis mittels der Schatten der Netzhautgefäfse, der in dem erst erwähnten Falle gegeben werden konnte. Beim blauen Lichte kommt endlich auch noch das durch Fluorescenz der Linse zerstreute weifsbläuliche Licht hinzu, welches sich ebenfalls über den ganzen Grund des Auges ausbreitet. Wenn also eine grofse Menge farbigen Lichts in das Auge fällt, werden immer auch solche Theile der Netzhaut, welche Bilder dunkler Objecte empfangen, von dem herrschenden Lichte schwach beleuchtet werden, und zwar desto stärker, je näher sie den Bildern der hellen Flächen liegen. Aufserdem besteht im Bereich des dunkeln Bildes die innere Reizung der Nervenmasse, das weifsliche Eigenlicht der Netzhaut. Dieses allein genommen würde im Contrast zur herrschenden Farbe dieser complementär erscheinen. Kommt aber viel der inducirenden Farbe gleichnamiges zerstreutes Licht hinzu, so wird dies von Anfang an den überwiegenden Eindruck machen; daher denn, wie oben bemerkt, schwarze Scheibchen vor farbigen Gläsern bei geringerer Helligkeit complementär, bei gröfserer gleichfarbig erscheinen.

Der zweite Fall, wo die inducirte Farbe der inducirenden gleichartig ist, bei langer Fixation nämlich, erklärt sich aus dem, was im vorigen Paragraphen über das allmähliche Erlöschen der Bilder durch lange Fixation beigebracht worden ist. Es ist schon dort bemerkt worden, dafs wenn eine Stelle der Netzhaut lange Zeit hindurch von demselben Lichteindrucke getroffen wird, die Empfindung der Helligkeit immer schwächer und die Farbe immer weniger gesättigt wird. Indessen bemerken wir diese Veränderung des Eindrucks nur, wenn wir Vergleichungen mit dem Eindruck, den dasselbe Licht auf un-

ermüdete Netzhautstellen macht, anstellen. Wir halten also dabei das Urtheil über die Farbe und Helligkeit fest, welches wir uns beim ersten Anblick gebildet haben. In der That würden wir, selbst wenn wir den Wechsel des Eindrucks bei einiger Aufmerksamkeit bemerken, ihn bald als subjective Erscheinung erkennen lernen, da er ja in jedem einzelnen Falle immer und immer wiederkehrt, und würden ihn, wie andere ähnliche subjective Erscheinungen, bald übersehen lernen.

Wenn die fixirte Fläche hellere und dunklere Theile hat, so verlöschen 402
diese Unterschiede bei der Abschwächung des Eindrucks allmählich. Man bezeichne sich auf einer solchen Fläche einen Punkt, der als Fixationspunkt dient; übrigens ist es vortheilhaft, wenn die Grenzen zwischen hellen und dunkeln Theilen verwaschen sind, um bei kleinen Schwankungen des Auges nicht zu stark gezeichnete Nachbilder zu geben. Fixirt man scharf und fest, so verlöschen in 10 bis 20 Secunden oft recht auffallende Lichtunterschiede, und zwar in der Weise, dafs anfangs die helleren Theile dunkler werden, und gleichzeitig die dunkleren heller. Auffallend ist dabei auch, dafs eine gröfsere dunkle Masse sich häufig in einen verwaschenen dunkeln Fleck verwandelt, oder eine helle Masse in einen verwaschenen hellen Fleck, als wären die Objecte mit dünnflüssigen Farben gemalt, und diese verliefen in einander. Übrigens ist in dieser Weise der Versuch schwer auszuführen, wegen der langen starren Fixation, und sehr anstrengend. Jeder Lidschlag, jede kleine Verrückung des Auges stellt das Bild wieder her. Viel bequemer und vollständiger gelingt er, wenn wir Objecte benutzen, die zur Netzhaut selbst eine feste Lage haben, nämlich die Netzhautgefäfse. Ich habe im § 15 die Methoden auseinandergesetzt die Netzhautgefäfse sichtbar zu machen. Das Gemeinsame dieser Methoden besteht darin, dafs man den Schatten der Gefäfse in eine ungewöhnliche Richtung fallen läfst, oder den Kernschatten zu verlängern sucht. Dabei ist aber auch nöthig die Richtung des Schatten werfenden Lichts fortdauernd zu verändern, und man sieht nur diejenigen Gefäfse, deren Schatten den Ort wechselt. So wie man die Lichtquelle unverrückt läfst, schwinden die Gefäfsstämme im Gesichtsfelde in wenigen Secunden, indem sie so hell werden wie das übrige Gesichtsfeld. Sie schwinden schneller und vollständiger, als es Bilder äufserer Gegenstände thun, bei denen die Schwierigkeit der Fixation besteht; sie schwinden um so schneller, je schwächer die Beleuchtung ist. Am längsten halten sie sich, wenn man durch eine Linse Sonnenlicht auf die äufsere Seite der Sclerotika concentrirt, weil hier das Feld am hellsten ist.

Einfache Überlegungen zeigen übrigens leicht, dafs das Verschwinden der Netzhautgefäfse ganz dieselben Ursachen hat, wie das Verschwinden aller fest fixirten Bilder, und dafs hierbei keineswegs irgend eine besondere Eigenthümlichkeit der hinter den Gefäfsen liegenden Netzhauttheile im Spiel ist. Es ist nicht zulässig anzunehmen, dafs diese Stellen etwa mit einer gröfseren Erregbarkeit begabt seien, als der Rest der Netzhaut, und deshalb trotz der Beschattung ebenso starke Empfindung hätten, wie die anderen. Denn wenn

wir den Schatten in ungewöhnlicher Richtung entwerfen, indem wir einen Theil der Sclera durch die Pupille oder von aufsen beleuchten, und zur Lichtquelle für den Augengrund machen, so verhalten sich die neu beschatteten Theile der Netzhaut genau ebenso, wie die gewöhnlich beschatteten. Auch auf jenen schwindet das Bild schnell, wenn es seinen Platz nicht wechselt, und die gewöhnlich beschatteten Theile geben sich keineswegs durch eine dauernd gröfsere Helligkeit zu erkennen. Vorübergehend blitzen allerdings helle Streifen neben dem Schatten auf, sobald der Schatten eine Zeit lang still gestanden hat, und dann wieder sich zu bewegen beginnt. Aber das
403 geschieht bei seitlicher Beleuchtung ebenso gut, wie bei der Beleuchtung von vorn. Es zeigt sich dabei also wohl, dafs die beschatteten Theile der Netzhaut ausruhen, und wenn wieder Licht auf sie fällt, dieses lebhafter empfinden. Aber die Nachwirkung der Ruhe, das negative helle Nachbild des Schattens dauert eben nicht länger als das Nachbild dunkler äufserer Objecte. Ich glaube deshalb nicht zweifeln zu dürfen, dafs wir in dem schnellen Verschwinden des Gefäfsschattens eben nichts anderes sehen, als in dem Verschwinden jedes starr angeschauten objectiven Bildes mit mäfsigen Helligkeitsunterschieden, nur dafs in jenem Falle die Schwierigkeiten der Fixation wegfallen.

Wenn nun dauernd eine Stelle der Netzhaut *A* stärker beleuchtet wird als eine andere *B*, so wird allerdings, weil *A* mehr ermüdet wird als *B*, der anfängliche Unterschied der Erregung bis zu einem gewissen Grade vermindert werden, und wir sehen ihn dabei allmählich auch für unsere Empfindung ganz und gar verschwinden, sei es nun, dafs er wirklich zu klein wird, um wahrgenommen zu werden, oder, was mir wahrscheinlicher dünkt, weil unser Unterscheidungsvermögen für anhaltende Nervenerregungen viel unvollkommener ist, als für wechselnde Erregung. Da wir nun aber in diesen Fällen unsere Beurtheilung der Farbe nach dem ersten Eindruck festhalten, und über die allmähliche Veränderung desselben wegsehen, so scheinen uns bei diesem Versuch die Flächen *A* und *B* einander ähnlicher zu werden, während ihre mittlere Helligkeit ungefähr constant erscheint. Im Allgemeinen wird die hellere *A* dabei dunkler, die dunklere *B* aber heller. Eine silbergraue Tapete zum Beispiel mit dunkler grauen Blättern, an der Kupferstiche hängen, erscheint mir bei längerem Fixiren wie mit Milch übergossen.

Sind im Gesichtsfelde verschiedene Farben, so hat deren Eindruck ebenfalls nur im ersten Augenblicke volle Lebhaftigkeit. Bei anhaltendem Fixiren werden alle Farben immer dunkler und grauer, und daher einander ähnlicher. Dafs sie ähnlicher werden, bemerken wir; die Veränderung der herrschenden Farbe aber bemerken wir nicht, oder nur ungenau, so lange uns die Vergleichung mit frischen Eindrücken fehlt, und so halten wir diese meist für unverändert.

Haben wir also ein weifses Feld auf rothem Grunde fixirt, und werden die beiden Farben einander immer ähnlicher, so urtheilen wir, dafs das Weifs roth werde. Dazu kommt, dafs bei jedem Schwanken des Blicks an der

Grenze beider Felder auf dem Weiſs ein grünes Nachbild, auf dem Roth das von gesättigtem Roth aufblitzt, und durch den Contrast die Wirkung verstärkt.

Daſs beide Farben sich einander nähern, zeigt sich sehr deutlich, wenn man ein kleines rothes Feld auf breitem weiſsen Grunde fixirt. Auch dann wird, wie Fechner bemerkt hat, das Weiſs nach einiger Zeit röthlich, und zwar gleichmäſsig in seiner ganzen Ausdehnung. Ein zweites kleines farbiges Feld, welches weit seitlich liegt, hat keinen Einfluſs auf den Gang der Erscheinung. Wählt man aber den Fixationspunkt auf der Grenze zweier kleinen verschiedenfarbigen Felder, die auf weiſsem Grunde liegen, so überzieht sich nach Fechner der Grund mit der Mischfarbe beider. Es zeigt sich hierbei also eine besondere Bevorzugung der Farbe, welche der gelbe Fleck empfindet, was wohl seinen Grund darin hat, daſs diese am schärfsten und sichersten beurtheilt wird, während die Farbenempfindung auf den Seitentheilen der Netzhaut viel unvollkommener ist.

In den bisher betrachteten Fällen, wo wir voraussetzten, daſs die in- *404*
ducirende Farbe den gröſsten Theil des Gesichtsfeldes einnimmt, oder wenigstens durch ihre Stärke und Lebhaftigkeit die anderen beherrscht, sind die Contrasterscheinungen ziemlich constant und deutlich, und scheinen weiter von keinen Nebenbedingungen abzuhängen. Anders ist es, wenn das Feld der inducirenden Farbe kleiner ist, so daſs daneben an der Grenze des Gesichtsfeldes noch eine hinreichende Anzahl weiſser und verschiedener Objecte erscheinen können. Dann sind die Contrasterscheinungen durchaus nicht mehr so constant, und hängen von manchen merkwürdigen Nebenbedingungen ab, die mir für die Theorie dieser Erscheinungen sehr wichtig zu sein scheinen. Ist auſserhalb des inducirenden und inducirten Feldes das Gesichtsfeld dunkel, so stört dies nicht so sehr. Erst wenn das Dunkel einen sehr groſsen Theil des Gesichtsfeldes einnimmt, wenn man z. B. durch eine schwarze Röhre sieht, scheint das Eigenlicht der Netzhaut eine weiſse Beleuchtung zu vertreten, und die Contrasterscheinungen werden unsicher.

Einfluſs der Vorstellung von der körperlichen Lage der ge- *n*
sehenen Objecte. Sehr wirksam zeigt folgendes Verfahren von Ragona Scina *405*
die Contrastfarben auch bei mäſsiger Ausdehnung des farbigen Feldes. Es seien *ab* und *ac* *Fig. 199* zwei weisse Papierflächen, die eine horizontal liegend, die andere senkrecht, und *ad* eine farbige Glasplatte, welche gegen die beiden Papierflächen um 45° geneigt ist; *e* und *f* seien zwei schwarze Flecke. Ein Beobachter, welcher von oben bei *B* her auf den Apparat herniedersieht, erblickt die Fläche *ab* durch das gefärbte Glas hindurch, und sieht *ac* gespiegelt. Das Spiegelbild der Fläche *ac* fällt scheinbar mit der Fläche *ab* zusammen, und das Spiegelbild des schwarzen Flecks *f* liege neben dem Flecke *e*, etwa in *g*. Nun ist das Licht, welches farbige Gläser hindurchlassen.

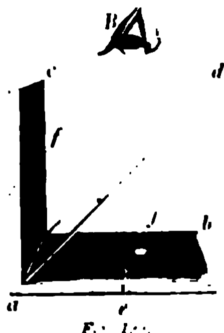


Fig. 199.

gefärbt, das, was sie reflectiren, besteht theils aus rein weifsem Licht, welches an der vorderen Fläche reflectirt ist, theils aus verhältnifsmäfsig kleinen Antheilen farbigen Lichts, welches an der hinteren Fläche, oder mehrmals innerhalb der Platte reflectirt ist. Das reflectirte Licht ist also bei dunkel gefärbten Platten fast weifs, wenigstens viel schwächer gefärbt, als das durchgelassene Licht. Demnach erhält das Auge des Beobachters von dem Spiegelbild *g* des Fleckes *f* her nur durchgelassenes, also gefärbtes Licht, was von *a b* kommt, von dem hellen Grunde theils durchgelassenes farbiges, theils reflectirtes weifsliches Licht, und von dem Flecke *e* her nur reflectirtes weifsliches Licht. Obgleich nun dieses letztere Licht nicht ganz weifs ist, sondern immer noch Theile gefärbten Lichtes von der Farbe des Glases enthält, erscheint es doch im Contrast gegen die Farbe des Grundes complementär gefärbt, der Fleck *g* dagegen natürlich in der gesättigten Farbe des Glases. Ist also z. B. das Glas grün, so erscheint *e* rosaroth, *g* grün.

Auch hier mufs man darauf sehen, dafs der Unterschied zwischen der Helligkeit, in der *e* und der Grund erscheint, nicht zu grofs wird, und deshalb bei farbigen Gläsern, die viel Licht durchlassen, die Fläche *a b* durch ein weifses Papier beschatten. Übrigens ist die Contrastfarbe von *e* deutlicher, wenn der dem Grunde gleichnamig erscheinende Fleck *f* da ist, als wenn er fehlt. Beide werden hier unter scheinbar gleichen Bedingungen gesehen, und die Vergleichung ihres Aussehens steigert den Gegensatz. Sucht sich nun der Beobachter ein graues Papier aus, welches genau dieselbe Farbe hat, wie ihm der Fleck *e* ohne Contrast erscheinen würde, und bringt er davon ein Schnitzelchen über die farbige Glasplatte, so dafs es ihm den Fleck *e* halb verdeckt, so erscheint ein solches Schnitzelchen gar nicht oder nur zweifelhaft complementär gefärbt, und sobald man die Farbe des Flecks *e* mit ihm vergleicht, und sie als gleich anerkennt, schwindet auch die Complementärfarbe von *e* und verwandelt sich in einfaches Grau. Es ist dies ganz dieselbe Erscheinung wie bei der ersten Methode.

406 Ähnliche Erscheinungen, die freilich nur sehr kleine durch Contrast gefärbte Felder, aber doch eine lebhafte und deutliche Wirkung zeigen, sind folgende. Man nehme eine schwach gefärbte etwas dicke Glasplatte etwa von gewöhnlichem grünlichen Fensterglas, und betrachte in ihr das Spiegelbild einer hellen weifsen Fläche. Dabei wirft die vordere Fläche der Platte rein weifses Licht zurück, die hintere grünliches, weil letzteres der absorbirenden Wirkung des Glases ausgesetzt gewesen ist. Nun bringe man zwischen die Platte und die helle Fläche ein schmales schwarzes Stäbchen, welches in zwei Spiegelbildern erscheint, deren eines von der vorderen, eines von der hinteren Fläche der Platte reflectirt wird. Wo das von der vorderen Fläche entworfene Spiegelbild gesehen wird, empfängt das Auge des Beobachters noch grünliches Licht von der hinteren Fläche, wo das Spiegelbild der hinteren Fläche liegt, noch weifses Licht von der vorderen Fläche. Der Grund erscheint daher weifs, kaum etwas grünlich, das erstere Spiegelbild

grün, das zweite durch Contrast sehr deutlich rosaroth. Noch deutlicher wird die Erscheinung, wenn man die hintere Fläche eines solchen gefärbten Glases mit Spiegelfolie belegt, und die Nachbilder unter so schiefer Incidenz betrachtet, dafs beide gleich stark erscheinen.

Ähnlich ist folgender Versuch. Man lege ein farbiges, z. B. grünes, auf ein weifses Papier (besser ein graues von gleicher Helligkeit). Nahe dem Rande, wo das grüne und weifse Feld zusammenstofsen, mache man auf jedes von beiden einen kleinen schwarzen Fleck, und setze ein Rhomboeder von Doppelspath auf diese Stelle. Durch den Krystall sieht man alle Punkte der Unterlage doppelt. In der Mitte erscheint ein grünweifser Streifen, wo sich das ordentliche Bild des Weifs mit dem aufserordentlichen des Grün deckt. Man mufs die Anordnung so treffen, dafs in diesem Streifen je eines der Bilder der beiden schwarzen Flecke erscheint. In dem ordentlichen Bilde des auf dem Weifs befindlichen schwarzen Flecks fehlt Weifs, ist aber Grün vorhanden, der Fleck ist grün. In dem aufserordentliichen Bilde des auf dem Grün befindlichen schwarzen Flecks fehlt Grün, ist aber Weifs vorhanden; durch Contrast erscheint er lebhaft rosenroth.

In den zuletzt beschriebenen Versuchen hängt die Contrastwirkung nicht mehr allein ab von einer bestimmten Vertheilung der Farben im Gesichtsfelde. Wir haben gesehen, dafs diese bei zwei verschiedenen leichten Abänderungen desselben Versuchs genau gleich sein kann, und doch in dem einen Falle die Contrastwirkung deutlich eintritt, im anderen nicht oder wenigstens unsicher. Sobald das contrastirende Feld als ein selbständiger Körper anerkannt wurde, der über dem farbigen Grunde lag, oder auch nur durch eine hinreichende Bezeichnung seiner Grenzen als ein gesondertes Feld genügend abgetheilt war, fiel der Contrast fort. Da also das *Urtheil* über die räumliche Lage, über die körperliche Selbständigkeit des betreffenden Objects entscheidend für die Bestimmung der Farbe ist, so folgt, dafs die Contrastfarbe hier nicht durch einen Act der Empfindung, sondern durch einen Act des Urtheils oder der Abschätzung entsteht. Die Art dieser Urtheilsacte, durch welche wir zur Wahrnehmung von Objecten mit bestimmten Eigenschaften gelangen, wird in der dritten Abtheilung genauer besprochen werden. Da die bezeichneten Urtheilsacte überwiegend oft unbewufst und unwillkürlich vollzogen werden, so ist es natürlich oft schwer, 407 auszumitteln, auf welcher Verkettung von Eindrücken das endliche Resultat beruht, und es liegt in der Natur der Sache, dafs sehr verschiedenartige Umstände von Einflufs sein können. Ich will versuchen hier dergleichen Umstände zu bezeichnen, so weit ich bei der Neuheit des Gegenstandes sie auffinden weifs.

Die bisher beschriebenen Versuche haben etwas Gemeinsames, welches den Eintritt der Contrastwirkung sehr zu unterstützen scheint, obgleich auch ohne diesen Umstand Contrast zu Stande kommen kann. In allen diesen Fallen scheint nämlich eine *farbige Beleuchtung* oder eine *farbige durchsichtige Decke* über das Feld ausgebreitet zu sein, und die An-

schauung ergiebt nicht unmittelbar, dafs sie auf der weifsen Stelle fehlt, so dafs hier nicht blos einfach an Stelle des Weifs die Complementärfarbe des Grundes gesetzt wird, dafs man vielmehr an die Stelle des Weifs zwei neue Farben setzt, die gemeinsame Farbe der Decke oder Beleuchtung und deren Complement. Am klarsten ist das Verhältnifs bei der in *Fig. 199* dargestellten Anordnung, wo man durch das unter 45° geneigte grüne Glas sieht. Man urtheilt, dafs der schwarze Fleck des unteren horizontalen Blattes rosenroth sei, aber man urtheilt auch, dafs man diesen Fleck wie das ganze Blatt mit seiner rosenrothen Farbe durch das grüne Glas sehe, und dafs die grüne Farbe, welche das Glas giebt, sich ununterbrochen über die ganze unterliegende Fläche erstreckt, auch über den dunkeln Fleck. Man glaubt also an dieser Stelle gleichzeitig zwei Farben zu sehen, nämlich das Grün, welches man der Glasplatte zuschreibt, und das Rosenroth, welches man dem dahinter liegenden Papier zuschreibt, und beide zusammen geben in der That die wahre Farbe dieser Stelle, nämlich Weifs. In der That müfste ein Object, welches, durch ein grünes Glas gesehen, weifses Licht in das Auge sendet, wie dieser Fleck, rosenroth sein. Bringen wir aber ein genau ebenso aussehendes weifses Object oberhalb der Glasplatte an, so fällt jeder Grund weg, die Farbe des Objects in zwei zu zerlegen, es erscheint uns weifs.

Ebenso wenn farbige Flächen mit durchscheinendem Papier bedeckt sind. Ist die Unterlage grün, so erscheint das Papier selbst grünlich gefärbt. Geht nun die Substanz des Papiers ohne sichtbare Unterbrechung über das untergelegte Grau hin, so glaubt man ein Object durch das grünliche Papier hindurchschimmern zu sehen, und ein solches Object mufs wiederum rosenroth sein, um weifses Licht zu geben. Ist aber die weifse Stelle als selbständiges Object abgegrenzt, fehlt die Continuität mit dem grünlichen Theil der Fläche, so betrachtet man sie als ein weifses Object, welches auf dieser Fläche liegt. Ich habe schon oben im § 20 erwähnt, dafs eine solche Trennung zweier Farben, die in demselben Theile des Gesichtsfeldes vorhanden sind, durch das Urtheil vorkomme. Wir lernten diesen Umstand dort als ein Hindernifs für das ungestörte Zustandekommen der Empfindung einer Mischfarbe kennen. Eine solche Trennung tritt sehr häufig ein, sobald die beiden Farben ungleichmäfsig verbreitet sind. Man glaubt dann, wie VOLKMANN[1], der diese Erscheinungen zuerst erwähnt hat, es beschreibt, die eine
408 Farbe *durch* die andere hin zu sehen. Die Fähigkeit, eine solche Trennung auszuführen, scheint mir auf folgendem Umstande zu beruhen. Ihre wichtigste Bedeutung haben die Farben für uns, insofern sie Eigenschaften der Körper sind, und als Erkennungszeichen der Körper benutzt werden können. Wir gehen deshalb bei unseren Beobachtungen mit dem Gesichtssinne stets darauf aus, uns ein Urtheil über die Körperfarben zu bilden, und dabei die Verschiedenheiten der Beleuchtung, unter der sich ein Körper uns darbietet,

[1] VOLKMANN, *Müller's Archiv für Anat. und Physiol.* 1838. S. 373.

zu eliminiren. Ich habe in § 20 schon erwähnt, dafs wir in diesem Sinne deutlich unterscheiden zwischen einem weifsen Blatte in schwacher Beleuchtung und einem grauen Blatte in starker Beleuchtung, daher wir eine gewisse Schwierigkeit finden, uns davon zu überzeugen, dafs hell beleuchtetes Grau gleich sei schwach beleuchtetem Weifs. Wir müssen künstlich das starke Licht genau auf das graue Feld beschränken, so dafs wir aus dem Sinneneindruck nicht entnehmen können, das Grau sei stärker beleuchtet als der Rest des Gesichtsfeldes. Erst dann erkennen wir seine Identität mit Weifs. So wie wir nun gewöhnt und geübt sind, uns ein Urtheil über Körperfarben zu bilden mit Elimination der verschiedenen Helligkeit der Beleuchtung, unter der wir sie sehen, so eliminiren wir auch die Farbe der Beleuchtung. Wir haben hinreichende Gelegenheit dieselben Körperfarben zu untersuchen bei vollem Sonnenschein, bei dem blauen Licht des klaren Himmels, bei dem schwachen weifsen Licht des bedeckten Himmels, bei dem rothgelben Licht der sinkenden Sonne, und bei dem rothgelben Licht der Kerzen. Dazu kommen noch die farbigen Reflexe der umgebenden Körper. In einem Laubwalde ist die Beleuchtung überwiegend grün, in Zimmern mit farbigen Wänden den Wänden gleichfarbig. Dieser letzteren Änderungen der Beleuchtung werden wir uns nicht einmal deutlich bewufst, und doch kann man sie mittels der farbigen Schatten oft genug nachweisen. Indem wir die gleichen farbigen Gegenstände unter diesen verschiedenen Beleuchtungen sehen, lernen wir uns trotz der Verschiedenheit der Beleuchtung eine richtige Vorstellung von den Körperfarben zu bilden, d. h. zu beurtheilen, wie ein solcher Körper in weifser Beleuchtung aussehen würde, und weil uns nur die constant bleibende Körperfarbe interessirt, werden wir uns der einzelnen Empfindungen, auf denen unser Urtheil beruht, gar nicht bewusst.

So sind wir denn auch nicht in Verlegenheit, wenn wir einen Körper durch eine farbige Decke hindurch sehen, zu scheiden, was der Farbe der Decke und was dem Körper angehört. Dafs wir in den beschriebenen Versuchen dasselbe thun, auch da, wo die Decke über dem Körper gar nicht farbig ist, verursacht, oder befördert wenigstens die Täuschung, in die wir verfallen, und vermöge deren wir dem Körper eine falsche Farbe, die Complementärfarbe des farbigen Theils der Decke zuschreiben.

Während wir aber geübt sind in einer einfarbigen Beleuchtung die Körperfarben richtig zu erkennen, reicht unsere Übung doch nicht zu, dasselbe zu thun, wenn zwei verschiedenfarbige Beleuchtungen von zwei verschiedenen Seiten und von eng begrenzten und scharfe Schatten werfenden Lichtquellen kommen. Denn in den meisten der oben aufgezählten Fälle farbiger Beleuchtung sind die farbigen Flächen sehr breit, und das farbige Licht ist deshalb ziemlich gleichmäfsig über alle Seiten der betrachteten Objecte verbreitet. Wir gewöhnen uns deshalb, von allen farbigen Flächen 409
ohne Unterschied, so weit sie im Bereich der farbigen Beleuchtung sind, die Farbe der Beleuchtung abzuziehen, um die Körperfarbe zu finden. Das-

selbe thun wir nun bei den farbigen Schatten, wo zwei farbige Beleuchtungen sich verbinden. Kommen Kerzenlicht und Tageslicht zusammen, so ist die Beleuchtung des Grundes weifslich rothgelb. Dieses Rothgelb der Beleuchtung subtrahiren wir nun auch von der Farbe des Schattens, zu dem gar kein Kerzenlicht gelangt, und halten diesen für blau, während er weifs ist. Wie in der That sich die Anschauung bildet, dafs die farbige Beleuchtung sich bei solchen farbigen Schatten und in der durchscheinenden Papierdecke auch über den objectiv weissen Fleck hinziehe, zeigt sich namentlich, wenn kleine Unregelmäfsigkeiten des Papiers die Beleuchtung fleckig machen; dann glaubt der Beobachter diese Fleckchen in der farbigen Beleuchtung zu sehen, die hier gar nicht existirt.

Weitere Beispiele, die sehr geeignet sind, unsere Fähigkeit zu zeigen, zwei Farben hinter einander gelegener Objecte von einander zu trennen, lasse ich hier noch folgen. Das erste schliefst sich an VOLKMANN's schon erwähnte Versuche an, der zwei farbige schmale Papierstreifen vor das Auge hielt, einen ganz nahe, den anderen in der Entfernung des deutlichen Sehens, und dabei bemerkte, dafs er, statt die Mischfarbe zu sehen, die eine Farbe durch die andere hin sah. Man bringe einen grünen Schleier dicht vor die Augen, und lasse ihn hinreichend stark beleuchten, dafs sich das ganze Gesichtsfeld mit einem grünen Scheine füllt, während das Muster und die Falten des Schleiers nur in einem sehr verwaschenen Zerstreuungsbilde erscheinen. Man wird ohne Schwierigkeit die Farben der dadurch gesehenen Gegenstände richtig erkennen, obgleich auf der Netzhaut sich zu allen Farben noch das grüne Licht des Schleiers mischt. Ja noch auffallender wird es, wenn nach einiger Zeit Ermüdung des Auges für das grüne Licht eintritt, dann färben sich nämlich die durch den Schleier gesehenen Gegenstände sogar rosenroth, trotz der Zumischung des grünen Lichts zu ihrem Netzhautbilde. Am besten zeigt sich dies, wenn wir nur mit dem rechten Auge durch den grünen Schleier sehen und das linke schliefsen. Nach kurzer Zeit sieht ein weifses Papier, durch den Schleier gesehen, nicht nur weifs, sondern sogar röthlich weifs aus. Wenn wir nun das rechte Auge schliefsen, das linke unbedeckte öffnen, so erscheint das Papier im Gegensatz dazu jetzt diesem Auge grün. Abwechselnd das rechte und linke Auge öffnend, sehen wir dann mit jenem, wo das Netzhautbild des Papieres grünlich-weifs ist, das Papier röthlich, mit diesem, wo das Netzhautbild weifs ist, umgekehrt das Papier grünlich.

Derselbe Erfolg tritt bei dem von SMITH[1] in Fochabers angegebenen und von BRÜCKE[2] veränderten und theoretisch erklärten Versuche ein. Wenn man nahe neben dem rechten Auge eine hell brennende Flamme anbringt, oder die Sonne von rechts her das Auge bescheinen läfst, aber so, dafs kein Licht direct in die Pupille eindringt, während das linke Auge beschattet
410 wird, so erscheinen dem rechten Auge weifse Gegenstände grünlich, dem

[1] SMITH. *Edinb. Journ. of Science.* V. 52. — *Pogg. Ann.* XXVII. 494. 1832.
[2] BRÜCKE, *Denkschrift der k. k. Akad. zu Wien.* III. Bd. *Pogg. Ann.* LXXXIV. 418. 1851.

linken röthlich gefärbt. Man sieht dies deutlich, wenn man hinter einander bald das rechte, bald das linke Auge öffnet, oder wenn man vor beide Augen ein weifses Blatt Papier bringt und ein in der Mitte zwischen Augen und Papier gehaltenes schwarzes verticales Stäbchen fixirt, welches man dann in zwei Bildern, eines dem rechten, das andere dem linken Auge angehörig, auf das Papier projicirt sieht. Auch dann ist das links erscheinende Bild, wo das linke Auge die Papierfläche sieht, aber nicht das rechte, roth, das andere grün. Fixirt man dagegen eine schwarze Tafel und hält in einiger Entfernung davor ein weifses Object, welches im Doppelbilde erscheint, so ist das rechte Bild roth, welches jetzt das vom linken Auge gesehene ist, das linke grün. Dem seitlich beleuchteten Auge also erscheint Weifs grünlicher als dem nicht beleuchteten Auge. Nun dringt unter diesen Umständen Licht durch die Sclera und die Augenlider in das beleuchtete Auge, und dieses Licht ist roth, wie wir aus früheren Versuchen[1] schon wissen. Läfst man Sonnenlicht seitlich auf das Auge scheinen, so erkennt man auch die rothe Farbe auf dunklen Objecten. Betrachtet man z. B. eine Druckschrift, so erscheinen die schwarzen Buchstaben schön roth, das weifse Papier grün. Dies rothe seitlich eingedrungene Licht zerstreut sich über den gröfsten Theil des Augengrundes, und die Netzhautstellen des beleuchteten Auges, welche das Bild eines weifsen Objects aufnehmen, werden also gleichzeitig von weifsem und rothem Lichte beleuchtet, empfinden aber grünlich weifs. Die grünliche Färbung wird bei längerer Fortsetzung des Versuchs immer deutlicher, weil sie von der Ermüdung des Auges für Roth abhängt. Aber sie kann bei der überwiegend rothen Beleuchtung der Netzhaut nur dadurch zu Stande kommen, dafs die schon vorher bestehende und ausgebreitete Erleuchtung des Grundes getrennt wird von dem hinzukommenden Lichte der Objecte, und das letztere grünlich erscheint, weil das Auge für roth ermüdet ist. Im Gegensatz hierzu erscheint nun im unveränderten Auge das reine Weifs röthlich.

Man betrachte ferner die Spiegelbilder der Tapeten und der Decke eines Zimmers in der gut polirten Oberfläche einer Mahagony-Tischplatte. Accommodirt man das Auge für die gespiegelten Gegenstände, so erscheinen diese entweder in natürlicher Farbe, oder auch oft etwas bläulich, complementär zur Farbe der Platte. Accommodirt man das Auge dagegen für die Platte, so sieht man, dafs die Summe des Lichtes, was von ihr herkommt, ganz überwiegend rothgelb ist. Die complementäre Färbung der Spiegelbilder tritt hier, wie ich finde, namentlich dann ein, wenn das gespiegelte Licht der Objecte verhältnifsmäfsig schwach gegen die Beleuchtung der Platte ist. Wenn dagegen bei sehr schrägem Einfall die Stärke des gespiegelten Lichts sehr zunimmt, die Holzmaserung dagegen verschwindet, so erscheinen die Spiegelbilder oft im Gegentheil röthlich, indem man dann die Trennung zu vollziehen keine Veranlassung mehr hat. Bei diesen zuletzt *

[1] S. oben S. 192.

beschriebenen Erscheinungen ist das hinzukommende Licht besonders gleichmäſsig der Zeit und der Fläche nach über das ganze Bild, über seine hellen und dunklen Stellen ausgegossen, von den Bewegungen des Auges unabhängig, während die körperlichen Objecte mit ihren gewöhnlichen Farbenunterschieden erscheinen. Dies scheint die Deutung desselben als eines unabhängigen Theils der Farbeneindrücke zu begünstigen. Dasselbe ist auch bei den Papierdecken der Fall.

414 Von den früheren Beobachtern ist in den theoretischen Erklärungen der Contrasterscheinungen immer vorausgesetzt worden, daſs die Reactionsweise der Nerven, die Empfindung, in den inducirten Theilen der Netzhaut verändert sei, daſs die Contrasterscheinungen also in gewissem Sinne in das Gebiet der Mitempfindungen gehörten, zu welchen viele Forscher auch die Irradiation rechneten. In gewissem Sinne hatte man allerdings Recht von veränderter Empfindung zu sprechen, insofern man bei den Beobachtungen den successiven Contrast nicht genau von dem simultanen getrennt hatte, und also allerdings eine Änderung der Empfindung durch Nachbilder eintreten konnte. Ich habe hier, so viel ich weiſs, die Trennung des successiven und simultanen Contrastes zuerst methodisch für alle Fälle durchzuführen gesucht und gefunden, daſs in den Fällen, wo die inducirende Farbe nicht durch ihre Ausdehnung und Lichtstärke alle anderen überwiegt, das Auftreten der Contrastfarbe von Umständen abhängt, die nur durch die psychischen Thätigkeiten,
415 durch welche es zu Gesichtswahrnehmungen kommt, festgestellt werden. Wenn dem inducirten Felde körperliche Selbständigkeit zugeschrieben wird, kommt es unter der genannten Bedingung meist nicht zur Wahrnehmung der Contrastfarbe. Die Art der hierbei vorkommenden Täuschung des Urtheils habe ich schon oben bezeichnet. Es handelt sich immer um Fälle, wo eine gewisse Breite des Zweifels über die Art der inducirten Farbe besteht, weil ein genauer Vergleich derselben mit Weiſs nicht ausführbar ist, und wo deshalb unser Wahrnehmungsvermögen durch Nebenumstände veranlasst wird, die betreffende Farbe bald an die eine, bald an die andere Grenze des Intervalls zu verlegen, innerhalb dessen die Unsicherheit besteht. Denjenigen meiner Leser, welche den Einfluss der psychischen Thätigkeiten auf unsere Sinneswahrnehmungen noch wenig kennen, wird es vielleicht unglaublich vorkommen, daſs durch psychische Thätigkeit eine Farbe [illegible] erscheinen soll, wo keine ist. Ich muss diese bitten, ihr Urtheil zu suspendiren, bis sie die Thatsachen des dritten Abschnittes dieses Werkes, der die Sinneswahrnehmungen [illegible] kennen gelernt haben, wo sie viele Beispiele ähnlicher Art finden werden. [illegible]

[illegible]

weniger lebhaft sehen werden, als ungeübte. Meine Versuche wurden mir von Personen, die in optischen Beobachtungen erfahren waren, leicht bestätigt. Dagegen sind in manchen Büchern die Contrasterscheinungen so beschrieben, dafs ich annehmen mufs, sie seien manchen Beobachtern viel leichter sichtbar und viel häufiger als mir.

Während nun die Contrasterscheinungen bei begrenztem inducirendem Felde durch die Abhängigkeit der Färbung von anderen nur durch Beurtheilung festgestellten Umständen keinen Zweifel über ihre Deutung lassen, sind die Contraste bei unbegrenztem inducirendem Felde viel constanter, und würden deshalb eher die Deutung zulassen, dafs sie durch Veränderungen der Empfindung selbst hervorgerufen seien. Indessen sind offenbar bei diesen letzteren die Bedingungen noch viel ungünstiger als bei den ersten, um die empfundene Farbe des inducirten Feldes sicher bestimmen zu können, weil eben die Vergleichung der Farbe dieses Feldes mit anderem Weifs ganz fehlt, oder wenigstens viel beschränkter ist. Aufserdem zeigen die Contraste auf unbegrenztem inducirendem Felde, wenn sie auch constanter auftreten, doch in ihren Intensitätsverhältnissen eine vollständige Analogie mit denen des begrenzten Feldes. Es wird in allen diesen Fällen die Contrastfarbe in voller Intensität schon durch eine sehr kleine Intensität der inducirenden Farbe hervorgerufen, und durch Steigerung der letzteren nicht oder wenig verstärkt. Dagegen kann sie eine deutliche Verstärkung erleiden, sobald wirklich die Empfindung durch Nachbilder verändert wird. Sie wird endlich durch das Urtheil in voller Intensität festgehalten, sobald man alle anderen Farben aus dem Gesichtsfelde entfernt. Ich zweifle deshalb nicht, dafs auch bei grofsem inducirendem Felde die Deutung der Erscheinungen die nämliche sein müsse, wie bei kleinem, dafs auch hier die Contrastfarbe nur durch eine falsche Schätzung gesetzt sei, wenn ich auch in diesen 416
Fällen noch keinen so genügenden Beweis für diese Deutung liefern kann.

Die Contrasterscheinungen sind dem LEONARDO DA VINCI grofsentheils schon bekannt gewesen. Er sagt, dafs unter allen Farben von gleicher Vollkommenheit jene die schönsten sind, welche neben den entgegengesetzten stehen, also Weifs neben Schwarz, Blau neben Gelb, Roth neben Grün.[1] Später waren es namentlich die farbigen Schatten, welche von allen anderen Contrasterscheinungen die Aufmerksamkeit in Anspruch nahmen. OTTO V. GUERICKE[2] kannte sie, und suchte sie zu benutzen, um den Aristotelischen Satz, dafs Weifs und Schwarz gemischt Blau geben könnten, zu beweisen. Aber erst BUFFON[3] lenkte die allgemeinere Aufmerksamkeit auf sie; er beobachtete sie indessen nur immer zufällig bei Sonnenaufgang oder Untergang, wo sie bald blau, bald grün waren. Abbé MAZEAS[4] erzeugte sie durch das Licht des Mondes und einer Kerze. Auch er glaubte die Farben aus einer Verminderung des Lichtes erklären zu können. Dagegen suchten MELVILLE[5] und BOUGUER[6] die Erscheinungen aus NEWTON's Farbentheorie zu erklären. Man hielt die Farben für objectiv, weil in der That die blauen Schatten, wenn sie von dem Lichte des blauen Himmels erleuchtet werden, objectiv blau gefärbt sind. Dafs wirklich das blaue Licht des Himmels in vielen Fällen Grund der blauen Schatten ist, zeigte namentlich BEGUELIN.[7] RUMFORD[8] scheint zuerst die subjective Natur der Farbe

[1] LEONARDO DA VINCI. *Trattato della pittura.* 1651. Cap. CC. — Farbige Schatten in Cap. CLVI. und CCCXXVIII.

[2] GUERICKE, Exper. Magdeb. p. 142. 1672.

[3] BUFFON. *Mém. de l'Acad. de Paris.* 1743. p. 217.

[4] MAZEAS, *Abh. der Akad. zu Berlin.* 1752.

[5] MELVILLE, *Edinb. Essays.* Vol. II. p. 75. 1760.

[6] BOUGUER, *Traité d'Optique.* p. 368. 1760.

[7] BEGUELIN, *Mém. de l'Acad. de Berlin.* 1767. p. 27.

[8] RUMFORD. *Phil. Transact.* LXXXIV. 107; *Gren's neues Journal der Physik.* II. 58.

**des einen Schattens entdeckt zu haben, indem er ihn durch ein enges Rohr betrachtete; derselben Ansicht schlossen sich GOETHE,[1] GROTTHUSS,[2] BRANDES,[3] TOURTUAL[4] an. Dagegen stritten noch längere Zeit andere Beobachter für die objective Natur beider Schattenfarben, so v. PAULA SCHRANK,[5] der die Farbe des blauen Schattens der Diffraction zuschrieb, ZSCHOKKE,[6] OSANN[7] und POHLMANN,[8] welcher sich BEGUELIN's Ansicht wieder anschloſs. Dagegen führte namentlich FECHNER[9] den Beweis von der subjectiven Natur dieser Erscheinungen, er wies unter anderem auch nach, wie durch eine Thätigkeit des Urtheils die einmal hervorgetretene Contrastfarbe festgehalten werden könne, und bereicherte die Zahl der Beobachtungen, doch wagte er noch keine Theorie dieser Erscheinungen aufzustellen. PLATEAU[10] zog die Contrasterscheinungen mit in seine Theorie der Nachbilder hinein; wie die Netzhaut der Zeit nach in entgegengesetzte Gegenstände überginge, sollte sie es auch der Fläche nach thun, so daſs zunächst um die erregte Stelle die gleiche Phase stattfinde, welche sich in den Irradiationserscheinungen kund gebe, und in weiterer Entfernung die entgegengesetzte, welche den Contrast hervorrufe.**

**Die Ansicht, daſs die Contrasterscheinungen sich durch Nachbilder erklärten, wurde schon von JURIN[11] vorgetragen, später von BRANDES. Sie war für einen Theil der Erscheinungen richtig, aber nicht für alle, und FECHNER namentlich zeigte, daſs auch ohne vorhergehende Ermüdung der betreffenden Netzhautstelle Contrastfarben entstehen könnten.**

## § 25. Verschiedene subjective Erscheinungen.

118 Es bleiben noch einige subjective Gesichtserscheinungen zu beschreiben übrig, deren Erklärung für jetzt unmöglich oder wenigstens ziemlich zweifelhaft ist, und welche deshalb in die vorausgegangenen Paragraphen nicht eingereiht werden konnten.

1. Erscheinungen des gelben Flecks. Der gelbe Fleck bildet eine in vielen Beziehungen ausgezeichnete Stelle der Netzhaut. Die Eigenthümlichkeiten seiner anatomischen Structur sind auf S. 34—36 beschrieben. Ferner zeichnet er sich physiologisch aus durch die Schärfe in der Wahrnehmung kleiner Bilder, worin sein Centrum, die Netzhautgrube, alle anderen Stellen der Netzhaut bei weitem übertrifft. Dadurch erhält er auch seine Bedeutung als Fixationspunkt. Wie er im entoptischen Bilde sichtbar gemacht werden kann, ist schon im § 15 (S. 192—196) auseinandergesetzt; er zeichnet sich bei dieser Beobachtungsweise dadurch aus, daſs die Gefäſse in seinem Centrum fehlen, und auſserdem durch den Schatten, den die seitlichen Abhänge der Netzhautgrube bei schiefer Beleuchtung werfen. Betreffs der Empfindungen dieser Netzhautstelle haben wir schon erwähnt, daſs sie bei der elektrischen Durchströmung des Auges je nach der Strömungsrichtung bald dunkel auf hellem Grunde, bald hell auf dunklem Grunde sich

---

[1] GOETHE, *Farbenlehre.* S. 27.
[2] GROTTHUSS, *Schweigger's Beiträge zur Chemie und Physik.* III. 14. 1811.
[3] BRANDES, *Gehler's neues Wörterbuch.* Art. Farbe. 1827.
[4] TOURTUAL, *Die Erscheinungen des Schattens.* Berlin 1830.
[5] v. PAULA SCHRANK, *Münchener Denkschr.* 1811 und 12. S. 293. und 1813. S. 5.
[6] ZSCHOKKE, *Unterhaltungsblätter für Natur- und Menschenkunde* 1826. S. 43.
[7] OSANN, *Pogg. Ann.* XXVII. 694. 1832; XXXVII. 287. 1836; XLII. 72.
[8] POHLMANN, Ebenda. XXXVII. 1836. 319—341.
[9] FECHNER, Ebenda. XLIV. 221. 1838. L. 433. 1840.
[10] PLATEAU, *Ann. de chim. et de phys.* LVIII. 339. 1834. *Pogg. Ann.* XXXII. 543; XXXVIII. 626. 1836.
[11] JURIN, *Essay on distinct and indistinct vision.* p. 170. 1738.

abzeichnet, ferner dafs sie bei mäfsig schnell intermittirendem Lichte sich durch eine eigenthümliche sternförmige Zeichnung in den schillernden Figurenmustern der Netzhaut hervorhebt.

Es ist jetzt noch zu erwähnen, dafs sie auch bei gleichmäfsig ausgebreiteter, namentlich blauer Beleuchtung sich eigenthümlich abzeichnet. Es erscheinen hierbei verschiedene Theile des gelben Flecks, nicht immer alle gleichzeitig, unter verschiedenen Bedingungen verschieden deutlich. Das Centrum des gelben Flecks ist die Netzhautgrube, in deren Grunde die Netzhaut sehr dünn, durchsichtig und ungefärbt ist. Ihr Durchmesser ist nach Koelliker 0,180 bis 0,225 mm. Ihr Abstand vom hinteren Knotenpunkte des Auges ist 15 mm, also im Mittel 75 mal so grofs als ihr Durchmesser. Ihre scheinbare Gröfse im Gesichtsfelde ist also ein Kreis, dessen Durchmesser 40 bis 50 Minuten beträgt. Sie erscheint, wenn sie sichtbar wird, gewöhnlich als ein gut begrenzter regelmäfsiger Kreis. Die Netzhautgrube umgebend erscheint oft ein dunkler Hof, dessen Gröfse ungefähr der gefäfs- 419
losen Stelle des gelben Flecks entspricht, wie sie erscheint, wenn man die Gefäfse entoptisch sichtbar macht. Die äufsere Begrenzung dieses Hofes, den wir den gefäfslosen nennen wollen, ist verwaschen, sein Durchmesser ungefähr dreimal gröfser als der der Netzhautgrube, beträgt also etwas über 2 Winkelgrade. Bald erscheint seine Grenze ziemlich kreisförmig, namentlich bei schwachem Lichte, bald einem Rhombus ähnlicher, dessen längere Diagonale horizontal liegt. In letzterer Weise erscheint sie mir selbst namentlich bei stärkerem Licht. Es entspricht diese Stelle anatomisch dem mittleren intensiv gelb gefärbten Theile des gelben Flecks, dessen horizontaler Durchmesser von H. Müller in zwei Augen gleich 0,88 und 1,5 mm, der verticale gleich 0,53 und 0,8 gefunden wurde. Übrigens breitet sich die gelbe Färbung noch viel weiter aus, ist aber schwach und verwaschen.

Endlich sieht man bei stärkerem Licht den dunklen gefäfslosen Hof noch umgeben von einem hellen Hofe, dessen äufsere Begrenzung sehr unbestimmt bezeichnet ist, und die mir selbst ebenfalls mehr rhombisch, als kreisförmig erscheint. Ihre beiden Durchmesser sind etwa dreimal so grofs, als die des dunklen gefäfslosen Hofes. Ein anatomisch wohlbegrenztes Substrat dieser Stelle läfst sich nicht bezeichnen. Die gelbliche verwaschene Färbung der äufseren Theile des gelben Flecks fällt mit diesem hellen Hofe einigermafsen zusammen. Doch läfst sich über die Congruenz ihrer Gröfse nichts sagen, da die Ausdehnung der schwachen gelben Färbung zu breite individuelle Abweichungen zuläfst. Vielleicht verdankt dieser äufserste helle Hof seinen Ursprung auch nur einer Constrastwirkung, wir können ihn nach seinem Entdecker, dem er kreisförmig erschien, den Loeweschen Ring nennen.

Loewe[1] entdeckte diesen Ring, indem er durch eine klare seladongrüne Auflösung von Chromchlorid nach einer hellen Fläche sah. Der Ring erschien

[1] Haidinger in *Pogg. Ann.* LXX 403. LXXXVIII 451. *Wiener Sitzungsber.* IX. 240.

im Vergleich zu dem grünlichen Grunde violett, den mittleren dunkleren Hof umgebend, so daſs ihn HAIDINGER mit einem Abbilde der Iris vergleicht, die die dunkle Pupille umgiebt. HAIDINGER zeigte, daſs dichromatische Mittel zur Herstellung der Ringe nicht nöthig seien, daſs sie im homogenen Blau des prismatischen Spectrum erscheinen, und auch in gemischtem Licht, welches genügend Blau enthält. In letzterem zeigen sie verschiedene Farbenunterschiede von dem übrigen Grunde, je nach der Beschaffenheit der dem Blau zugemischten Farben. Verschiedenen Augen scheint dieser Ring mit verschiedener Deutlichkeit zu erscheinen, so daſs viele ihn überhaupt nicht sehen können. Ich selbst sehe ihn nur bei einer gewissen mittleren Helligkeit, derjenigen etwa, die mir zum Schreiben und Lesen bequem ist. Wenn ich vor die Augen ein blaues Glas halte, sie durch Verschluſs der Lider eine Weile ausruhe und dann durch das Glas nach einer weiſsen Papierfläche sehe, erblicke ich deutlich den gefäſslosen Hof als einen rhombischen schattigen Fleck, umgeben von einem rhombischen, heller blauen Streifen, den LOEWEschen Ring. Bei etwas gröſserer und etwas kleinerer Helligkeit
420 erscheint mir der LOEWEsche Ring schmaler, bei noch gröſseren Abweichungen der Helligkeit sehe ich nur den dunklen gefäſslosen Hof ohne helle Umsäumung.

Der dunkle gefäſslose Hof ist der constanteste Theil der Erscheinung. Sein Verhalten ist zuerst von MAXWELL[1] genauer untersucht worden. Wenn man homogenes Licht anwendet, erscheint er nach ihm nur im Blau, nicht in anderen Farben. Übrigens erscheint er auch in gemischten Farben, wenn sie Blau reichlich enthalten, namentlich auch, freilich schwach, im Weiſs. Wenn man das ausgeruhte Auge nach einer blauen Fläche hinwendet, erscheint er und schwindet bald wieder, bei heller Beleuchtung schneller, als bei schwacher. MAXWELL empfiehlt, abwechselnd vor das Auge blaue und gelbe Gläser oder blaue und gelbe Papiere zu bringen. Im Blau erscheint der Fleck, im Gelb verschwindet er. Ich selbst sehe ihn am schönsten am Abendhimmel, wenn die ersten Sterne zu erscheinen anfangen, und man sich schon längere Zeit im Freien befindet, so daſs die Augen hinreichend ausgeruht sind. Wenn man sie einige Augenblicke schlieſst und dann nach dem Himmel hin öffnet, sieht man den gefäſslosen Hof einige Zeit lang sehr deutlich, die Netzhautgrube in seinem Innern auch häufig, und zwar als einen etwas helleren Fleck von reinerem Blau, ziemlich scharf begrenzt. Dabei ist es eigenthümlich, daſs, wie schon MAXWELL bemerkt hat, der Lichteindruck in den centralen Stellen der Netzhaut einen Moment später zur Empfindung kommt, als in den peripherischen Theilen. MAXWELL lieſs zu dem Ende eine Reihe dunkler Streifen vor einem blauen Felde mit gewisser Geschwindigkeit vorbeigehen. Man sieht es aber auch beim einfachen Aufschlagen der Augen. Das Dunkel der geschlossenen Augen

---

[1] *Athenäum.* 1856. p. 1093. *Edinb. Journ.* (2) IV. 337. *Inst.* 1856. p. 424. *Rep. of British Association.* 1856. II. 12.

schwindet deutlich von der Peripherie des Gesichtsfeldes nach dem Centrum hin, und der letzte Rest desselben bleibt als der MAXWELLsche Fleck bestehen. Bei gewissen Helligkeitsgraden, namentlich dem oben bezeichneten des Himmels, wenn die ersten Sterne sichtbar werden, ist die Erscheinung beim Aufschlagen der Augen noch complicirter. Während nämlich in der beschriebenen Weise das Dunkel von der Peripherie nach dem Centrum schwindet, sieht man auch noch entweder die Netzhautgrube allein, oder den ganzen MAXWELLschen Fleck hell aufblitzen: Vielleicht geht das helle Aufblitzen der dunklen Erscheinung etwas voraus, aber die Zeit ist so kurz, dafs beides scheinbar gleichzeitig eintritt, wie auch AUBERT an Nachbildern bei der Beleuchtung durch den elektrischen Funken ähnliches bemerkt hat.

Zuweilen, wenn die Netzhautgrube recht deutlich erscheint, sehe ich in dem gefäfslosen Hofe noch schwache Linienzeichnungen, ähnlich den Umrissen einer vielblättrigen Blume (z. B. einer Georgine, Dahlia). Es sind dies wohl Andeutungen derselben Zeichnung, welche deutlicher bei intermittirendem Lichte zum Vorschein kommt.

Eine ähnliche, aber regelmäfsigere und bestimmtere Art von Zeichnung, die aber einen viel gröfseren Theil des Gesichtsfeldes einnahm, beschreibt Hr. A. KOENIG.[1] Er hat sie mehrfach beim Aufwachen in einem halbdunklen Zimmer gesehen vor dem ersten Öffnen der Lider. Er sah dann das Gesichtsfeld mit regelmäfsigen Sechsecken ausgefüllt, die durch breite schwarze Linien von einander abgegrenzt waren. Der Grund der Zeichnung erschien graublau und die von rechts oben nach links unten gerichteten Linien hatten einen ziemlich breiten gelben Saum. Jedes Sechseck enthielt ein meist etwas oberhalb seines Centrum stehendes schwarzes Pünktchen. In etwa 30° Abstand von dem Fixationspunkt wurde die Zeichnung undeutlich. Der scheinbare Durchmesser jedes Sechsecks wurde auf etwa 1° geschätzt. Die Zellen des Pigmentepithels der Netzhaut würden etwa nur unter 5′ Durchmesser erscheinen können. Ein Stück des mittleren, deutlichsten Theiles dieser Erscheinung ist in *Fig. 3* auf *Taf. II* abgebildet.

Endlich mufs ich noch bemerken, dafs ich den MAXWELLschen Fleck oft 420
zufällig des Morgens nach dem Aufstehen, wenn ich das Auge zuerst auf ein helles Fenster mit breiter lichter Fläche geheftet hatte, und es dann nach einem
dunklen Orte wendete, hell auf dunklem Grunde gesehen habe. Absichtlich 421
die Erscheinung hervorzurufen, ist mir bis jetzt nicht gelungen. Es erscheint hierbei ein blendend heller Kreis von der Gröfse des gefäfslosen Hofes, nach den Rändern hin abschattirt und mit Andeutungen der strahligen Zeichnung. Diese letztere Erscheinung läfst schliefsen, dafs, wenn das Auge recht erholt und reizbar ist, der Lichteindruck im gelben Fleck länger anhält, als in den übrigen Theilen der Netzhaut, während andererseits der Lichteindruck an derselben Stelle auch später zu beginnen scheint, wie die beschriebenen Erscheinungen beim Öffnen des Auges zeigen. Dafs der stark gefärbte

[1] ARTHUR KOENIG. Eine bisher noch nicht bekannte subjective Gesichtserscheinung. *Graefes Archiv.* Bd. 30 (3). S. 329.

Theil des gelben Flecks auf einem blauen Felde dunkel erscheint, scheint der Absorption des blauen Lichts durch das gelbe Pigment zugeschrieben werden zu dürfen. Gelb gefärbt sind hier gerade die Theile, welche vor den eigentlich lichtempfindlichen Theilen, den Zapfen, liegen. Dafs der Fleck übrigens subjectiv nur schwach gezeichnet und schnell vorübergehend erscheint, erklärt sich in derselben Weise, wie das flüchtige Erscheinen der Gefäfsfigur. Das zuweilen vorkommende helle Aufblitzen des gelben Flecks dagegen beim Öffnen des Auges läfst sich noch nicht erklären.

Wie bisher beschrieben, verhalten sich die Erscheinungen im nicht polarisirten Lichte. Wenn man dagegen das Auge auf ein Feld richtet, von wo polarisirtes Licht kommt, so erscheinen Haidingers Polarisationsbüschel im Fixationspunkte. Man sieht diese z. B., wenn man durch ein Nicolsches Prisma nach einem gut beleuchteten weifsen Papierblatte oder nach einer hellen Wolkenfläche blickt. Die Büschel sind auf *Taf. II*, *Fig. 4* abgebildet, wie sie liegen, wenn die Polarisationsebene des Lichtes vertical ist. Die helleren durch zwei zusammengehörige Hyperbeln begrenzten Flecke erscheinen auf weifsem Felde bläulich, der dunkle Büschel, der sie trennt und, im Centrum am schmalsten, nach seinen Enden hin breiter ist, ist dagegen gelblich gefärbt. Wenn man das Nicolsche Prisma dreht, dreht sich die Polarisationsfigur um den gleichen Winkel. Nach einer Bemerkung von Brewster, die ich für mein Auge bestätigen kann, ist der dunkle Büschel in seiner Mitte viel schmaler, wenn er horizontal (d. h. der Verbindungslinie beider Augen parallel) gerichtet ist, als wenn er senkrecht steht, wie in der Abbildung. Die Fläche, welche von der Polarisationsfigur bedeckt wird, erscheint Maxwells und meinem Auge an Gröfse dem gefäfslosen Hofe des gelben Flecks gleich. Der Rand der Netzhautgrube geht ungefähr durch die hellsten Stellen der blauen Flächen hindurch. Brewster giebt den Durchmesser der Polarisationsbüschel etwas gröfser an, nämlich 4°, und Silbermann 5°, was vielleicht damit zusammenhängt, dafs sie in verschiedenen Augen sehr verschiedene Deutlichkeit zu haben scheinen, und deshalb die schwächsten Teile der Figur am äufsersten Rande von einigen wahrgenommen werden, von anderen nicht. Ich selbst habe unmittelbar nach Haidingers Entdeckung mit der gröfsten Mühe nichts von den Büscheln wahrnehmen können, und 12 Jahre später, als ich es wieder versuchte, sah ich sie beim ersten Blick durch ein Nicolsches Prisma. Auch ist in meinem linken Auge die Mitte des dunklen Büschels viel dunkler, als im rechten. Daran ist vielleicht die veränderliche Färbung des gelben Flecks
422 Schuld. Wenn man sie übrigens sieht, so schwinden sie doch immer bald wieder, wie jede subjective Erscheinung, die an eine Structur der Netzhaut gebunden ist. Sie treten dann neu hervor, wenn man den Polarisator um 90° dreht.

Individuen, welche die Büschel recht deutlich wahrnehmen, sehen sie auch in solchem Lichte, welches nur theilweise polarisirt ist, auf glänzenden Flächen, am Himmel u. s. w., und sind dadurch im Stande, überall gleich die

**Richtung** der Polarisationsebene zu erkennen. Von den verschiedenen Farben homogenen Lichts zeigt aber, wie STOKES gefunden hat, nur das Blau die Polarisationsbüschel. In den weniger brechbaren Theilen des Spectrum kommen sie nicht zur Erscheinung. In einem blauen Felde erscheinen die bläulichen Hyperbelflächen hell, der gelbe Büschel dazwischen dagegen dunkel, so z. B., wenn man durch ein stark gefärbtes blaues Glas und den Polarisator nach einer weifsen Fläche blickt. Ich selbst sehe die Büschel nicht blos nicht in homogenem Grün, Gelb, Roth, sondern auch nicht einmal in den gemischten, aber ziemlich gesättigten Abstufungen dieser Farbentöne, welche gefärbte Gläser geben. Es folgt daraus, dafs auch im weifsen Licht die Erscheinung von den Veränderungen des Blau herrührt. Am Orte der gelben Büschel fehlt das Blau, und diese erscheinen eben deshalb gelb und dunkler.

Wenn Licht durch Refraction, Reflexion oder Doppelbrechung polarisirt wird, werden stets sämmtliche Farben nahehin gleichmäfsig von der Polarisation betroffen. Nur bei der Absorption farbigen Lichts in doppeltbrechenden Körpern kann es vorkommen, dafs das Licht gewisser Farben polarisirt wird, das Licht anderer Farben dagegen nicht. Das bekannteste Beispiel solcher Absorption ist der Turmalin, welcher so häufig als Mittel, Licht zu polarisiren, gebraucht wird. Es ist diese Eigenschaft übrigens unter den doppeltbrechenden gefärbten Körpern sehr verbreitet, man kann sie durch Färbung derselben künstlich erzeugen, und sie beruht darauf, dafs bald wie im Turmalin der ordentliche, bald wie im Rutil und Zinnstein der aufserordentliche Strahl stärker absorbirt wird. Nun sind aber die meisten organischen Fasern und Membranen schwach doppeltbrechend, und zwar verhalten sich beide meist wie einaxige Krystalle, deren Axe in den Fasern parallel ihrer Länge, in den Membranen senkrecht zu ihrer Fläche steht. Die Erscheinung der Polarisationsbüschel ist nun zu erklären, wenn man annimmt, dafs die gelbgefärbten Elemente des gelben Flecks schwach doppeltbrechend sind, und dafs der aufserordentliche Strahl von blauer Farbe in ihnen stärker absorbirt werde, als der ordentliche Strahl.

Geht blaues Licht von beliebiger Polarisation durch eine Fasermasse von dieser Eigenschaft in Richtung der Fasern, so wird es stark absorbirt; geht es dagegen senkrecht gegen die Richtung der Fasern hindurch, so wird es stark absorbirt werden, wenn es parallel den Fasern polarisirt ist, schwach dagegen, wenn seine Polarisationsrichtung ebenfalls senkrecht zur Richtung der Fasern ist. Nun verlaufen im gelben Fleck die sogenannten radiären Fasern von H. MÜLLER, welche an anderen Stellen der Netzhaut senkrecht gegen deren Fläche stehen, schräg, indem ihr hinteres Ende sich der Netzhautgrube nähert.[1] In der Centralgrube fehlen die Körnerschichten und die 423
Zwischenkörnerschicht entweder ganz, oder sind wenigstens sehr dünn, da-

[1] BERGMANN in *Henle und Pfeufer's Zeitschr. für rat. Med.* 2 V. 245; III. 88. — MAX SCHULTZE, *Observationes de Retinae structura penitiori.* Bonn 1859 p. 15

gegen ist die innere Körnerschicht und die Zwischenkörnerschicht in der Umgebung der Netzhautgrube dicker als an anderen Stellen; ähnlich verhält sich die Schicht der Ganglienzellen, obgleich diese auch in der Centralgrube doch noch 3 Reihen Zellen hinter einander enthält, so dafs es scheint, als ob die zu den Zapfen der Centralgrube gehörigen anderen Elemente in der Umgebung dieser Grube angehäuft seien und deshalb die Verbindungsfasern sowohl nervöser als bindegewebiger Natur schräg verlaufen müssen. An dem Rande der Netzhautgrube nun, wo die Fasern überwiegend eine schräg gegen ihr Centrum verlaufende Richtung haben, würde nach der gemachten Annahme das Licht stärker dort absorbirt werden, wo die Fasern der Polarisationsebene parallel laufen. Ist letztere vertical, so werden also über und unter der Netzhautgrube sich dunklere Stellen bilden, rechts und links hellere. Ebenso würden die Stellen dunkler werden müssen, wo die Fasern nicht mehr schräg gegen die Fläche der Netzhaut liegen, also im Centrum der Grube selbst, und nach dem äufseren Rande des gelben Flecks hin. In der That entspricht die Erscheinung der Polarisationsbüschel diesen Folgerungen.

Man hat noch andere Ansichten über die Entstehung der Polarisationsbüschel aufgestellt. Unter diesen ist namentlich die von Erlach angedeutete, von Jamin specieller ausgeführte, ziemlich günstig aufgenommen worden. Beide meinten, die Büschel herleiten zu können von den vielfachen Refractionen, die das Licht an den brechenden Flächen des Auges erleidet. In der That würde senkrecht polarisirtes Licht, welches von oben oder unten her in das Auge dringt, stärker reflectirt und weniger eingelassen werden, als solches, welches von rechts oder links her kommt, und demnach müfste der obere und untere Quadrant des Gesichtsfeldes etwas dunkler erscheinen, als der rechte und linke. Aber wenn Polarisation durch Refraction der Grund wäre, müfsten erstens die Büschel in allen homogenen Farben nahehin gleich deutlich erscheinen, während sie dies nur im Blau thun. Zweitens müfsten sie nach den Rändern des Gesichtsfeldes hin continuirlich an Stärke zunehmen. Im Gegentheil sind sie auf einen sehr kleinen centralen Theil beschränkt. Drittens müfste ihr Centrum im Axenpunkte des Auges liegen, nicht im Fixationspunkte, der von jenem, wie es scheint, in allen Augen verschieden ist. Es haben auch schon Stokes, Brewster und Maxwell auf das Ungenügende dieser Erklärung aufmerksam gemacht, und die beiden letzteren haben bemerkt, dafs die Ausdehnung der Büschel mit der des gelben Flecks übereinkomme. Allerlei andere, aber nicht klar durchgeführte Erklärungen sind auch von Haidinger und Silbermann gegeben.

Haidinger beschreibt im blauen Felde, wo man die Loewe'schen Ringe sieht, auch noch helle Andreaskreuzlinien, über die noch keine Beobachtungen von anderen Augen vorliegen. Ich selbst kann sie nicht sehen.

424 2. Helle bewegliche Punkte erscheinen im Gesichtsfelde, wenn man, namentlich während angestrengten Gehens oder anderer Leibesbewegung, eine grofse gleichmäfsig erleuchtete Fläche, z. B. den Himmel oder Schneefelder, starr ansieht. Die Pünktchen springen an verschiedenen Orten des Gesichtsfeldes auf und laufen in sehr verschiedenen, meist nicht ganz geraden Bahnen ziemlich schnell fort. Dabei erscheinen auf dem Wege, den eines eingeschlagen hat, nach kurzen Zwischenzeiten neue, die auf demselben Wege

fortlaufen. PURKINJE bemerkt, daſs, wenn man nach einer begrenzten lichten Fläche, z. B. gegen ein Fenster, schaut, jeder Punkt auf der von der Mitte des Sehfeldes abgekehrten Seite ein kleines Schattenbild nach sich zieht. Da sie feste Wege einzuhalten scheinen, sind sie von manchen Beobachtern (J. MÜLLER) für eine Erscheinung des Blutlaufs gehalten worden. Sie sind aber, wenigstens in meinem Auge, viel zu vereinzelt, als daſs man sie für Blutkörperchen halten könnte, ihre Bahnen ebenfalls viel zu weit von einander entfernt, und ihre Bewegung zu schnell, als daſs ihre Wege einem Capillarnetz entsprechen könnten. Wenn ihre Erscheinung wirklich mit dem Blutlauf zusammenhängt, könnte man höchstens daran denken, daſs einzelne vielleicht fettreiche Lymphkörperchen, die durch gröſsere Gefäſsstämmchen hinflieſsen, sich in dieser Art zeigen. Diese Erscheinung scheint übrigens von den meisten Menschen leicht gesehen zu werden.

Die Blutkörperchen sind übrigens eben noch groſs genug, um, wenn sie sich in der Netzhaut befinden und auf diese einen Eindruck machen, noch erkannt zu werden. Ihr Durchmesser beträgt im Mittel 0,0072 mm, und die Gröſse der kleinsten erkennbaren Distanzen ist 0,005 mm (siehe S. 256). Verschiedene Beobachter haben denn auch Reihen von fortlaufenden Kügelchen 425
und unbestimmtere wallende und flieſsende Bewegungen bei verschiedenen Veranlassungen gesehen. Die eigenthümliche Erscheinung in einander verschlungener Strömungen, welche bei intermittirendem Lichte eintritt und von VIERORDT auf den Blutlauf der Aderhaut bezogen wird, ist schon oben erwähnt. Ähnliches sieht man übrigens auch zuweilen ohne intermittirendes Licht, wenn man in eine helle Fläche hineinstarrt, besonders nachdem man durch Bücken das Blut nach dem Kopf getrieben hat. Sobald durch den Lichteindruck die Netzhaut so weit ermüdet ist, daſs die Fläche dunkel wird, erscheint gleichsam hinter der hellen Fläche, welche verschwindet, eine gefleckte röthliche Fläche, deren Flecken bald bewegt, bald ruhig sind. Reihen von flieſsenden Kügelchen haben STEINBUCH und PURKINJE,[1] namentlich bei schwachem Drucke auf das Auge, gesehn. Letzterer sah sie zuerst bei Beobachtung der dunklen Accommodationsfigur, welche bei ihm aus einem centralen weiſsen Kreise, umgeben von einem bräunlichen, unbestimmt begrenzten Hofe, bestand. Rechts und links neben dem weiſsen Kreise sah er zwei senkrechte lichte Linien, in denen sich Reihen von Kügelchen bewegten, rechts abwärts, links aufwärts. Ich habe bis jetzt nichts Ähnliches sehen können. JOHANNES MÜLLER[2] sah bei Congestionen nach dem Kopfe, oder wenn er sich gebückt hatte und sich plötzlich aufrichtete, ein Springen und Fahren, wie von dunklen geschwänzten Körpern in den mannigfaltigsten Richtungen, und vergleicht diese Erscheinung mit dem Ameisenlaufen in den Gefühlsnerven.

Ein Flimmern wie von kleinen bewegten Körpern sehe ich auch zuweilen

---

[1] PURKINJE, *[illegible]* I. 127.
[2] JOHANNES MÜLLER, *[illegible]* II. 390.

von einer mit grobem Kalk beworfenen und sehr schief durch ein kleines Fenster beleuchteten Wand, die daher mit einer Menge kleiner schwarzer unregelmäfsiger Punkte übersät erscheint. Aber hier könnten es vielleicht Nachbilder der Pünktchen sein, welche durch unvermeidliche kleine Schwankungen des Auges aufblitzen.

Purkinje beschreibt noch andere Erscheinungen, die bei Aufregung des Gefäfssystems oder Anstrengung der Augen eintraten. Seine Beschreibung lautet:[1] „Wenn ich bei hellem Tage eine viertel bis halbe Stunde im Freien stark gegangen bin, und ich trete plötzlich in einen finsteren oder wenigstens stark verdunkelten Raum, so wallt und flackert im Gesichtsfelde ein mattes Licht, gleich der auf einer horizontalen Fläche verlöschenden Flamme von ausgegossenem Weingeiste, oder gleich einer im Finstern schwach flimmernden, mit Phosphor bestrichenen Stelle. Bei schärferer Betrachtung bemerke ich, dafs der flackernde Nebel aus unzählbaren, äufserst kleinen, unregelmäfsig lichten Pünktchen besteht, die sich in verschiedenen Linien unter einander bewegen, sich bald da, bald dort anhäufen, unbestimmt begrenzte Flecke bilden, die sich wieder zertheilen, um sich anderwärts zu versammeln. Jeder Punkt läfst eine lichte Spur seiner Bewegung hinter sich, welche Spuren, sich mannigfaltig durchschneidend, Netze und Sternchen bilden;
420 so wimmelt es eine grofse Strecke im Innern des Gesichtsfeldes und hindert das deutliche Sehen. Am ähnlichsten dieser Erscheinung ist das Gewimmel der sogenannten Sonnenstäubchen."

Er sieht dasselbe bei bedecktem rechten Auge, wenn er mit dem schwach- und fernsichtigen linken eine helle Fläche fixirt, ferner bei allmälig verstärktem Druck auf das linke Auge. Die Pünktchen erscheinen lebhafter bei offenem als bei geschlossenem Auge, besonders wenn dasselbe nach einer nicht gänzlich verdunkelten entfernten Stelle hinsieht. Das äufsere Licht ist also der Erscheinung förderlich.

Pulsirende Kugeln, zwei an der rechten Seite des Gesichtsfeldes, eine Reihe an der unteren, drei an der linken Seite, erscheinen ihm auf der hellen Himmelsfläche, wenn er gelaufen ist, bei Druck auf das Auge oder bei angestrengtem Husten. Auch pulsirt der Fixationspunkt, und es erscheinen noch graue Streifen, theils kreisförmig den Fixationspunkt umgebend, theils radiale Gefäfsstreifen.[2]

3. Figuren, die bei gleichmäfsig erleuchteter Netzhaut sichtbar werden. Purkinje[3] bemerkt, dafs, wenn er nach einer grofsen etwas blendenden Fläche starr hinsieht (z. B. auf den gleichmäfsig mit Wolken überzogenen Himmel oder in eine ganz nahestehende Kerzenflamme), in einigen Secunden wiederholt in der Mitte des Gesichtsfeldes lichte Punkte aufspringen, die, ohne ihre Stelle geändert zu haben, schnell wieder verschwinden und schwarze Punkte zurücklassen, die ebenso schnell wieder vergehen. Wendete

[1] Purkinje, *Beobachtungen und Versuche*. I. 63.
[2] Ebenda I. 134.
[3] Ebenda I. 67.

er, während die Lichtpunkte hervorspringen, das Auge gegen eine stark verdunkelte Stelle, oder schloſs er es, so setzte sich die Erscheinung auf gleiche Weise fort, nur in einem gemilderten Lichte, als würden durch das erste Hinsehen die Punkte nur entzündet und glimmten dann für sich allein ab. Ich selbst habe ebenfalls häufig solche vereinzelte lichte Punkte, die nicht Nachbilder sein konnten, weil entsprechende kleine helle Gegenstände im Gesichtsfelde fehlten, die dunkle Nachbilder hätten zurücklassen können, zufällig gesehen, aber meist nur einen auf ein Mal, und im Ganzen selten sich wiederholend.

Hierher gehört ferner PURKINJEs Kreuzspinnengewebefigur,[1] aus lichten röthlichen Linien auf rothem Grunde gebildet, die das Gewebe einer Kreuzspinne bald einfacher, bald complicirter nachbildete. Um die Figur gut zu sehen, hatte sich PURKINJE so gelagert, daſs die Strahlen der aufgehenden Sonne seine Augenlider treffen muſsten. Beim Erwachen sah er hinter den geschlossenen Lidern die Figur.

Überhaupt ist das Werk von PURKINJE auſserordentlich reich an subjectiven Beobachtungen ähnlicher Art und wird noch lange eine Hauptfundgrube für ähnliche Beobachtungen bleiben. Aber viele von den Erscheinungen, die er beschreibt, sind von anderen Augen noch nicht wieder aufgefunden worden, und für diese bleibt es also vorläufig fraglich, ob sie nicht auf individuellen Eigenthümlichkeiten seiner Organe beruhten.[2]

---

[1] PURKINJE, *Beobachtungen und Versuche* II. 87.

[2] Siehe noch die Erscheinungen in No. XXII des ersten, in No. IV, V, XV des zweiten Bandes seiner *Beobachtungen und Versuche*.

# Dritter Abschnitt.

## Die Lehre von den Gesichtswahrnehmungen.

### § 26. Von den Wahrnehmungen im Allgemeinen.

427 Wir benutzen die Empfindungen, welche Licht in unserem Sehnervenapparate erregt, um uns aus ihnen Vorstellungen über die Existenz, die Form und die Lage äufserer Objecte zu bilden. Dergleichen Vorstellungen nennen wir Gesichtswahrnehmungen. Wir haben in diesem dritten Abschnitte der physiologischen Optik auseinanderzusetzen, was sich bisher über die Bedingungen, unter denen Gesichtswahrnehmungen zu Stande kommen, auf naturwissenschaftlichem Wege ermitteln liefs.

„ Diese Untersuchung tritt nothwendig zum Theil in das Gebiet der Psychologie ein, eben weil sie sich mit der Entstehung und dem Bewufstwerden von Vorstellungen zu beschäftigen hat. Wie schwierig auch nur eine klare Fragestellung, geschweige denn eine Entscheidung in diesem Gebiete ist, wo wir hauptsächlich auf Selbstbeobachtung unserer Seelenvorgänge angewiesen sind, ist allgemein bekannt. Doch bleibt der physikalisch-physiologischen Untersuchung auch hier ein weites Feld der Arbeit, insofern nämlich festgestellt werden mufs und auf naturwissenschaftlichem Wege auch festgestellt werden kann, welche besonderen Eigenthümlichkeiten der physikalischen Erregungsmittel und der physiologischen Erregung Veranlassung geben zur Ausbildung dieser oder jener besonderen Vorstellung über die Art der wahrgenommenen äufseren Objecte. Wir werden also in dem vorliegenden Abschnitte zu untersuchen haben, an welche besonderen Eigenthümlichkeiten der Netzhautbilder, der Muskelgefühle u. s. w. sich die Wahrnehmung einer bestimmten Lage des gesehenen Objects in Bezug auf Richtung und Entfernung anknüpft, von welchen Besonderheiten der Bilder die Wahrnehmung einer nach drei Richtungen ausgedehnten körperlichen Form des Objects abhängt, unter welchen Umständen es, mit beiden Augen gesehen, einfach oder doppelt erscheint u. s. w. Unser Zweck ist also hierbei wesentlich nur das Empfindungsmaterial, welches zur Bildung von Vorstellungen Veranlassung giebt, in denjenigen Beziehungen zu untersuchen, welche für die daraus hergeleiteten Wahrnehmungen wichtig sind. Dieses Geschäft kann ganz nach naturwissenschaftlichen Methoden ausgeführt werden. Wir

werden dabei nicht vermeiden können, auch von psychischen Thätigkeiten und den Gesetzen derselben, so weit sie bei der sinnlichen Wahrnehmung in Betracht kommen, zu sprechen, aber wir werden die Ermittelung und Beschreibung dieser psychischen Thätigkeiten nicht als einen wesentlichen Theil unserer vorliegenden Arbeit betrachten, weil wir dabei den Boden sicherer Thatsachen und einer auf allgemein anerkannte und klare Principien gegründeten Methode kaum würden festhalten können. So glaube ich wenigstens vorläufig, das Bereich des psychologischen Theils der Physiologie der Sinne gegen die reine Psychologie abgrenzen zu müssen, deren wesentliche Aufgabe es ist, die Gesetze und Natur der Seelenthätigkeiten, so weit dies möglich ist, festzustellen.

Der besondere Charakter dieser Schwierigkeiten, mit denen die Psychologie » zu kämpfen hat, scheint mir zunächst darin zu liegen, dafs die Art und Weise, wie wir die Vorgänge in unserem Seelenleben wahrnehmen, gänzlich verschieden ist von allen Wahrnehmungen, die sich auf äufsere Objecte beziehen, und die Qualitäten der darauf bezüglichen Empfindungen gar keine Ähnlichkeit mit denen der äufseren Sinne haben, mit diesen also gar keine Art der Vergleichung, keine Beziehung der Ähnlichkeit zulassen. Dadurch ist jede Art von Analogie zwischen beiderlei Klassen von Wahrnehmungen ausgeschlossen. Dies Verhältnifs ist durchaus treffend bezeichnet worden, indem man die Wahrnehmungen der Seelenzustände, darunter auch die der Thätigkeit des bewufsten Denkens und Vorstellens, einem besonderen Sinne zuschrieb, dem inneren Sinne oder der inneren Anschauung Kants. Wie die Empfindungen des Auges, Ohres, Tastgefühles unter einander so gänzlich verschieden sind, dafs man zwischen denen verschiedener Sinne gar keine Vergleichung in Bezug auf Qualität oder Intensität anstellen kann, so verhält es sich auch, wenn man Wahrnehmungen von Seelenzuständen mit solchen des Auges oder Ohres vergleichen wollte.

Daran schliefst sich noch der weitere Unterschied, dafs die Wahrnehmungen der äufseren Sinne sich wenigstens zum grofsen Theil auf gemeinsame äufsere Objecte beziehen, die in bestimmter räumlicher Ordnung neben einander liegen, und dafs wir jedenfalls schliefslich durch Erfahrung lernen können, selbst abgesehen von der Möglichkeit angeborenen Verständnisses solcher Perceptionen, wie die gleichen Raumverhältnisse im einen oder anderen Sinne erscheinen. Dagegen lehren uns die Wahrnehmungen des inneren Sinnes durchaus nichts von einer lokalen Verschiedenheit oder einem Ortswechsel der Seelenzustände erkennen. Höchstens lassen physiologische Versuche oder pathologische Erfahrungen und gelegentliche Steigerungen der Gehirnthätigkeit zu schmerzhaften Erregungen und Ermüdungen dieses Organs uns erkennen, dafs die Seelenthätigkeiten an die normale Leistungsfähigkeit des Gehirns gebunden seien, und dafs dieselben also auch örtlich diesem Organe zukommen, während wir den Objecten, die wir durch die äufseren Sinne wahrnehmen, ihren Ort im äufseren, unseren Kopf umgebenden Raume anzuweisen genöthigt sind.

Jedenfalls erscheinen uns niemals gleichzeitig vorhandene Acte des Bewufstseins, so weit solche etwa sollten vorkommen können, als neben einander an verschiedene Orte gebunden, sondern immer nur als gleichzeitig bestehend oder höchstens als schnell mit einander wechselnd. Diese Unabhängigkeit von allen örtlichen Unterschieden, wenigstens so weit solche wahrgenommen werden können, bildet einen tiefgreifenden Unterschied gegen alle Erscheinungen der Körperwelt.

Dagegen ordnen sich in der That auch die Wahrnehmungen des innern Sinnes, ebenso wie die der äufseren Sinne, jede in einen bestimmten Augenblick der Zeitreihe ein. Es geschieht dies durch eine fortdauernde Thätigkeit des Gedächtnisses. Wir haben in jedem Augenblick unseres wachen Lebens aufser dem Bewufstsein unseres gegenwärtigen Seelenzustandes noch Erinnerungen an die nächst vorausgegangenen im Bewufstsein und sind uns auch deutlich der Verschiedenheit dieser beiden Arten von Zuständen, der gegenwärtigen Wahrnehmung und der Erinnerung, bewufst, so dafs wir sie sicher unterscheiden. So lange sie uns überhaupt im Gedächtnifs stehen bleiben, bleibt auch die Erinnerung an ihre Zeitfolge. Auf diese Weise erhält durch die beschriebene Thätigkeit unseres Gedächtnisses jeder neu eintretende Act unseres Bewufstseins nothwendig von vorn herein seine Stelle in der Zeitreihe nach dem schon Erlebten, vor dem erst noch zu Erlebenden angewiesen.

Durch diese Einordnung in die Zeitreihe wird nun auch die Möglichkeit gegeben, regelmäfsige Wiederholungen solcher Zeitfolgen von gleichartigen Wahrnehmungen als solche zu beobachten und wiederzuerkennen. Im Allgemeinen werden die Fälle selten sein, wo die Wiederholung der ursprünglichen Wahrnehmung ganz in derselben Weise ein zweites oder drittes Mal wieder vor sich geht, wie sie das erste Mal erfolgt ist, weil unsere Perceptionen, wie wir bald erfahren, durch willkürliche Bewegungen unserer Glieder und Änderung der Beobachtungsweise ebenfalls geändert werden, selbst wenn der Zustand der Aufsenwelt ungeändert geblieben ist. Ob letzteres der Fall ist, davon können wir uns in jedem beliebigen Augenblick durch Rückkehr in die frühere Innervation unserer Muskeln überzeugen. Dadurch wird allerdings die Auffindung der Gesetzmäfsigkeit in der Zeitfolge der von uns beobachteten Ereignisse aufserordentlich viel verwickelter gemacht.

Erst nachdem wir die Änderungen in der Erscheinungsweise der uns umgebenden Objecte, die durch unsere willkürlichen Handlungen und Bewegungen hervorgerufen werden, und ihre Abhängigkeit von unseren verschiedenen Willensimpulsen vollständig kennen gelernt haben, können wir hoffen, sicher zu erkennen, dafs die genügenden Vorbedingungen für den Eintritt einer bestimmten zu erwartenden Folge gegeben sind, und andererseits den Eintritt oder das Ausbleiben dieser Folge selbst durch die entsprechenden Sinneseindrücke festzustellen.

Die Schwierigkeiten und Verwickelungen dieser Aufgaben kennen wir sehr wohl aus allen naturwissenschaftlichen Untersuchungen, wo wir

das Reelle, zur Zeit Bestehende, herauszulösen haben aus seinen verschiedenen Erscheinungsweisen. Das wichtigste Mittel, diese Aufgabe zu lösen, ist uns gegeben in der Willkürlichkeit unserer Bewegungen, mittels deren wir in jedem uns beliebigen Augenblick bei der Rückkehr in die frühere Beobachtungsweise constatiren können, ob der frühere Eindruck vollständig wiederkehrt, oder ob er geändert ist. Wenn diese Rückkehr in jedem uns beliebigen Augenblick unverändert stattfindet, schliefsen wir auf dauerndes Bestehen eines unveränderten Objects und betrachten die inzwischen durch bestimmte Willensimpulse eingetretenen Veränderungen als Änderungen der Erscheinungsweise, deren Abhängigkeit von den wechselnden Innervationen wir dabei kennen zu lernen Gelegenheit haben.

Alle die hier besprochenen Regelmäfsigkeiten in der Zeitfolge von verschiedenen Vorgängen unseres Bewufstseins können bei hinreichend häufiger und ausnahmsloser Wiederholung gleichartiger Beobachtungen der Verallgemeinerung durch Induction unterliegen und so die Bedeutung allgemeiner Sätze erlangen, die als Grundlage weiterer Schlüsse benutzt werden können.

Um aber zur Überzeugung von der Allgemeingültigkeit solcher inductiv gefundener Sätze gelangen zu können, wird verlangt werden müssen, dafs auch die Wahrnehmungen der betreffenden Vorgänge fein und mannigfaltig genug seien, um an ihnen alle diejenigen Unterschiede des objectiven Bestandes sicher erkennen zu können, welche ihren Einflufs durch Abänderung der Folgezustände geltend zu machen im Stande sind. Wo die Feinheit der Perception dazu nicht ausreicht, würden wir natürlich nicht begreifen können, warum in zwei Fällen, die uns anscheinend vollkommen gleich erscheinen, sich ganz verschiedene Folgen entwickeln. An solchen Fällen würde unser Bestreben, sie auf ein Gesetz zurückzuführen oder sie zu begreifen, scheitern müssen.

Nun sind in der That die beiden Grenzen, an denen die Wahrnehmungen des inneren Sinnes sich an Erregungen des Nervensystems anschliefsen, durch Feinheit, Sicherheit und Reichthum ihres Empfindungsumfanges ausgezeichnet. An der einen Seite haben wir die ungeheuere Mannigfaltigkeit der Empfindungen, die nicht nur in den fünf verschiedenen Sinnen einen fast unübersehbaren Reichthum von Qualitätsunterschieden entwickeln, sondern daneben auch noch die ebenso unabsehbaren Mannigfaltigkeiten der räumlichen Vertheilung der Farben und Helligkeiten im Gesichtsfelde und der Accordverbindungen musikalischer Töne. Indem diese Eindrücke in das Bewufstsein aufgenommen, d. h. percipirt werden, bleibt ihre ganze Mannigfaltigkeit unvermindert bestehen, jedes Bild im Sehfelde bleibt unterscheidbar von jedem anderen. Jede Stelle darin kann unabhängig von jeder anderen Ziel der Aufmerksamkeit werden und mit ihrem früheren Aussehen verglichen werden. Demgemäfs ist auch das Bestreben der physiologischen Optik, die Gesetze zu finden, nach denen die Gesichtswahrnehmungen von den Nervenerregungen abhängen, ein verhältnifsmäfsig sehr erfolgreiches und fruchtbares gewesen.

Ebenso reich und sicher ist andererseits bei einem erwachsenen gesunden Menschen die Kenntnifs der Innervationen, die er seinen motorischen Nerven geben mufs, um irgend eine beabsichtigte Stellung seiner Glieder oder Richtung seines Blicks hervorzubringen. Wir werden später sehen, dafs als Absicht einem solchen Willensimpulse der Regel nach die lebhafte Vorstellung von derjenigen unmittelbar wahrnehmbaren Veränderung seiner Glieder oder Organe zu Grunde liegt, welche er hervorrufen will. Es ist dies durchaus nicht immer die Kenntnifs der Mittel, die er zu diesem Zwecke in Anwendung setzen mufs, nicht einmal immer eine deutliche Vorstellung der Bewegungen und Stellungen der Körpertheile, welche er brauchen mufs. So z. B. beim Kehlkopf, wenn wir singen oder sprechen wollen, beim Auge, wenn wir ein Object betrachten, dafür accommodiren wollen, weifs der ununterrichtete Mensch nichts von der Stellung seiner Organe.

Ganz anders verhält es sich mit den zwischen diesen beiden äufsersten Grenzen des Gebiets liegenden rein seelischen Veränderungen, den Vorgängen, die wir als Wünsche, Begehren, Absichten, Willensacte bezeichnen, so wie mit dem Auftauchen und Verschwinden der Vorstellungen, Phantasien und Erinnerungen in unserem Gedächtnifs. So weit sie sich auf ein bestimmtes vorstellbares Ziel richten, lassen sie sich individuell bezeichnen. Aber meist sind sie schwankend, veränderlich, unbestimmt und bringen kein Mafs für ihre Intensität mit sich, so dafs die Kraft, mit der sie sich gegenseitig begünstigen oder hindern, nicht zu bestimmen oder abzuwägen ist. Daher kann auch kaum von einem Verständnifs einer Gesetzmäfsigkeit in ihrem Wechsel und der Richtung ihrer Entwickelung die Rede sein.

Nur ein Thema, was hierher gehört, wird uns noch beschäftigen, nämlich die Thätigkeit des Gedächtnisses; diese ist aber grofsentheils unbewufst.

Ich habe vorher erwähnt, welches Gewicht die inductive Verallgemeinerung unserer Erfahrungen über die willkürlichen Veränderungen unserer Beobachtungsweise von Objecten der Aufsenwelt dadurch gewinnt, dafs diese Beobachtungen in jedem uns beliebigen Moment erfolgen können. In der That erscheint uns der Moment beliebig und nur durch unseren Willensentschlufs bestimmt. Welche verborgenen Gründe aber in diesem Moment den Entschlufs hervorgerufen haben, wissen wir selbst nicht. Darauf kommt es in diesem Falle auch nicht an. Denn selbst, wenn solche existirt und den Entschlufs beeinflufst hätten, so wäre der entscheidende Anstofs doch immer nur durch Vorgänge unseres Bewufstseins gegeben worden, so dafs also die Kette der Ursachen durch dieses hindurchgelaufen ist und ein unmittelbar durch innere Anschauung beobachtetes Glied in derselben besteht und sie zusammenhält.

Wir kennen in diesem Fall schon den angewandten Willensimpuls als ein Ereignifs, welches bestimmte Folgen in der Aufsenwelt erfahrungsgemäfs nach sich zieht, und wissen andererseits ebenso erfahrungsgemäfs, dafs, wenn wir den Willensimpuls nicht geben, sondern ihn im Stadium des Wunsches

oder der vorgestellten Absicht beharren lassen, auch die entsprechenden Folgen in der Aufsenwelt ausbleiben.

Wir haben nun noch zu reden von der Art, wie unsere Vorstellungen und Wahrnehmungen durch inductive Schlüsse gebildet werden. Das Wesen unserer Schlüsse finde ich am besten auseinandergesetzt in der Logik von STUART MILL. Sobald der Vordersatz des Schlusses nicht ein Gebot ist, welches durch fremde Autorität für unser Handeln oder Glauben aufgestellt ist, sondern ein Satz, der sich auf die Wirklichkeit bezieht und also nur das Resultat der Erfahrung sein kann, so lehrt uns der Schlufs in der That nichts Neues, was wir nicht schon gewufst haben, ehe wir ihn machten. Also z. B. 447

Major: Alle Menschen sind sterblich.
Minor: Cajus ist ein Mensch.
Conclusio: Cajus ist sterblich.

Den Major, dafs alle Menschen sterblich sind, welches ein Erfahrungssatz ist, dürfen wir eigentlich nicht aufstellen, ehe wir nicht wissen, ob die Conclusio richtig ist, dafs auch Cajus, der ein Mensch ist, gestorben sei oder sterben werde. Wir müssen also des Schlufssatzes sicher sein, ehe wir noch den Major, durch welchen wir ihn beweisen wollen, aufstellen können. Das scheint freilich ein Herumgehen im Cirkel zu sein. Das wahre Verhältnifs ist offenbar das: Wir und andere Menschen haben bisher ausnahmslos beobachtet, dafs kein Mensch über ein gewisses Alter hinaus gelebt hat. Die Beobachtenden haben diese Erfahrungen, dafs Lucius, Flavius und wie die einzelnen Menschen sonst hiefsen, von denen sie es wissen, gestorben sind, in den allgemeinen Satz zusammengefafst, dafs alle Menschen sterben, und haben sich berechtigt gefühlt, weil dieses Ende in allen den Fällen regelmäfsig eintrat, welche beobachtet worden sind, diesen allgemeinen Satz auch für gültig zu erklären für alle diejenigen Fälle, welche noch später zur Beobachtung kommen würden, und so bewahren wir uns den Schatz von Erfahrungen, den wir oder andere Beobachter in diesem Puncte bisher gemacht haben, in Form des allgemeinen Satzes im Gedächtnisse auf, der den Major des obigen Schlusses bildet.

Es ist aber klar, dafs wir zu der Überzeugung, Cajus werde sterben, auch unmittelbar, ohne in unserem Bewufstsein den allgemeinen Satz zu bilden, hätten kommen können, indem wir seinen Fall mit allen uns bekannten früheren verglichen hätten, und das ist sogar die gewöhnlichere und ursprünglichere Art, durch Induction zu schliefsen. Dafs dergleichen Schlüsse ohne bewufste Reflexion entstehen, indem in unserem Gedächtnisse das Gleichartige der früher beobachteten Fälle sich an einander fügt und sich gegenseitig verstärkt, zeigt sich namentlich in denjenigen Fällen von inductivem Schliefsen, wo es uns nicht gelingt, eine ausnahmlos geltende Regel mit genau bestimmten Grenzen ihrer Gültigkeit aus den bisherigen Erfahrungen zu abstrahiren, wie das der Fall ist bei allen verwickelten Vorgängen. So können wir z. B. aus der Analogie früherer ähnlicher Fälle zuweilen mit ziemlicher Sicherheit voraussagen, was einer unserer Bekannten thun wird, wenn er unter gewissen Umständen sich zum Handeln entscheiden wird, weil wir seinen Charakter kennen, z. B. als ehrgeizig oder als feig, ohne dafs wir doch genau anzugeben wissen, wonach wir den Grad des Ehrgeizes oder der Feigheit zu messen haben, und warum der vorhandene Grad von Ehrgeiz oder Feigheit ausreichen wird, das Handeln des Menschen so zu bestimmen, wie es unserer Erwartung nach ausfallen soll. 448

Bei den eigentlich sogenannten und mit Bewufstsein vollzogenen Schlüssen,

wenn sie sich nicht auf Gebote, sondern auf Erfahrungssätze stützen, thun wir also in der That nichts anderes, als dafs wir mit Überlegung und sorgfältiger Prüfung diejenigen Schritte der inductiven Verallgemeinerung unserer Erfahrungen wiederholen, welche schon vorher in schnellerer Weise ohne bewufste Reflexion ausgeführt waren, entweder von uns selbst, oder von anderen Beobachtern, denen wir vertrauen. Wenn aber auch durch die Formulirung eines allgemeinen Satzes aus unseren bisherigen Erfahrungen nichts wesentlich Neues unserem bisherigen Wissen hinzugefügt wird, so ist dieselbe doch in vieler Beziehung nützlich. Einen bestimmt ausgesprochenen allgemeinen Satz können wir viel leichter im Gedächtnisse aufbewahren und anderen Menschen mittheilen, als wenn dies mit allen einzelnen Fällen geschehen müfste. Wir werden durch seine Aufstellung veranlafst, jeden neu eintretenden Fall gerade in Bezug auf die Richtigkeit jener Verallgemeinerung genau zu prüfen, wobei jede Ausnahme uns doppelt stark auffallen wird; wir werden uns eher an die Beschränkungen der Gültigkeit erinnern, wenn wir den Satz in allgemeiner Form vor uns haben, als wenn wir alle einzelnen Fälle durchlaufen müssen. Es wird also durch eine solche bewufste Formulirung des Inductionsschlusses mancherlei gewonnen für die Bequemlichkeit und Sicherheit des Verfahrens, aber es wird im Wesentlichen nichts Neues hinzugefügt, was nicht schon in den ohne Reflexion ausgeführten Analogieschlüssen bestände, mittelst deren wir z. B. den Charakter eines Menschen aus seinen Gesichtszügen und seinen Bewegungen beurtheilen, oder nach der Kenntnifs seines Charakters voraussagen, was er in einem gegebenen Falle thun wird.

Wir haben nun genau denselben Fall bei unseren Sinneswahrnehmungen. Wenn wir Erregung in denjenigen Nervenapparaten gefühlt haben, deren peripherische Enden an der rechten Seite beider Netzhäute liegen, so haben wir in millionenfach wiederholten Erfahrungen unseres ganzen Lebens gefunden, dafs ein leuchtender Gegenstand nach unserer linken Seite hin vor uns lag. Wir mufsten die Hand nach links hin erheben, um das Licht zu verdecken, oder das leuchtende Object zu ergreifen, oder uns nach links hin bewegen, um uns ihm zu nähern. Wenn also in diesen Fällen kein eigentlicher bewufster Schlufs vorliegt, so ist doch die
449 wesentliche und ursprüngliche Arbeit eines solchen vollzogen und das Resultat desselben erreicht, aber freilich nur durch die unbewufsten Vorgänge der Association von Vorstellungen, die im dunklen Hintergrunde unseres Gedächtnisses vor sich geht und deren Besultate sich daher auch unserem Bewufstsein aufdrängen, als gewonnen durch eine uns zwingende, gleichsam äufsere Macht, über die unser Wille keine Gewalt hat.

Es fehlt an diesen Inductionsschlüssen, die zur Bildung unserer Sinneswahrnehmungen führen, allerdings die reinigende und prüfende Arbeit des bewufsten Denkens; dessen ungeachtet glaube ich, sie doch ihrem eigentlichen Wesen nach als S c h l ü s s e, unbewufst vollführte Inductionsschlüsse, bezeichnen zu dürfen.

Ihrer Aufnahme in das bewufste Denken und ihrer Formulirung in der Norimalform logischer Schlüsse widersteht sehr oft noch ein ihnen ganz eigenthüml cher Umstand, nämlich der, dafs wir gar nicht näher bezeichnen können, was in uns vorgegangen ist, wenn wir eine Empfindung in einer bestimmten Nervenfaser hatten, und wodurch diese zu unterscheiden ist von entsprechenden Empfindungen in anderen Nervenfasern. Haben wir z. B. eine Lichtempfindung in gewissen Fasern des Sehnervenapparates gehabt, so wissen wir nur, dafs wir eben eine Empfindung eigenthümlicher Art gehabt haben, die sich von allen anderen Sinnesempfindungen

und auch von allen anderen Gesichtsempfindungen unterschieden hat, und bei welcher wir immer ein lichtes Object nach links hin zu finden pflegten. Wir können im natürlichen Zustande, und ehe wir Physiologie studirt haben, von der Empfindung nicht anders sprechen, und die Empfindung selbst für unser eigenes Vorstellen nicht anders begrenzen und nicht festhalten, als indem wir sie bezeichnen durch die Bedingungen, unter denen sie zu Stande gekommen ist. Ich mufs sagen: „ich sehe etwas Helles nach links hin“; das ist der einzige Ausdruck, den ich der Empfindung geben kann. Dafs wir Nerven haben, dafs diese Nerven erregt worden sind, und zwar Nerven, die rechts in den Netzhäuten endigen, lernen wir erst spät durch wissenschaftliches Studium, und dadurch bekommen wir erst die Mittel, diese Art der Empfindung zu definiren, unabhängig von der Art, wie sie gewöhnlich hervorgerufen wird.

Ähnlich verhält es sich bei den meisten Sinnesempfindungen. Die Geschmacks- und Geruchsempfindungen wissen wir meistentheils selbst ihrer Qualität nach nicht anders zu bezeichnen, als durch die Benennung derjenigen Körper, welche geschmeckt oder gerochen werden, einige wenige, ziemlich unbestimmte, allgemeinere Bezeichnungen abgerechnet, wie „süfs“, „sauer“, „bitter“, „scharf“.

Übrigens scheint es, dafs die Farbennamen ursprünglich ähnlich ent- »
standen sind. Wenigstens erhielt ich von verschiedenen Collegen, die sich mit Sprachvergleichung beschäftigen, die Auskunft, dafs die Namen für Roth meist auf Wurzeln zurückführen, die Brennen und Flamme bezeichnen, wie rubeus, ἐρυθρός, roth, red. Die Namen für Grün weisen meist auf wachsende Pflanzen hin, viridis, was auf virescere, vis zurückdeutet, englisch: grow, green, deutsch: grün. Die Namen für Blau weisen auf Himmel und Luft hin wie: coeruleus, das englische blue, wie das deutsche blau auf blow, i. e. blasen. Die Griechen haben κυάνεος vom Meere entnommen.

Diese Urtheile, durch welche wir von unseren Sinnesempfindungen auf die 449
Existenz einer äufseren Ursache derselben hinübergehen, können wir also auf dem gewöhnlichen Zustande unseres Bewufstseins gar nicht einmal in die Form bewufster Urtheile erheben. Das Urtheil, dafs links von mir ein helles Object sei, weil die rechts in meiner Netzhaut endenden Nervenfasern sich in Erregungszustand befinden, kann Jemand, der von der inneren Beschaffenheit des Auges nichts weifs, nur so aussprechen: „Links ist etwas Helles, weil ich es dort sehe“. Und demgemäfs kann auch die Erfahrung, dafs, wenn ich das Auge rechts drücke, die dort endenden Nervenfasern erregt werden, vom Standpuncte der täglichen Erfahrung gar nicht anders ausgesprochen werden, als so: „Wenn ich das Auge rechts drücke, sehe ich links einen hellen Schein“. Es fehlt jedes Mittel, die Empfindung anders zu beschreiben und mit andern früher gehabten Empfindungen zu identificiren, als dadurch, dafs man den Ort des scheinbar entsprechenden äufseren Objects bezeichnet. Deshalb haben also diese Fälle der Erfahrung das Eigenthümliche, dafs man die Beziehung der Empfindung auf ein äufseres Object gar nicht einmal aussprechen kann, ohne sie schon in der Bezeichnung der Empfindung vorauszuschicken, und ohne das schon vorauszusetzen, von dem man erst noch reden will.

Wir kommen nunmehr zu der viel bestrittenen Frage, welche Art der »
Übereinstimmung zwischen der Vorstellung und ihrem Object vorhanden sei, oder welche Art von Wahrheit wir unseren Vorstellungen und Perceptionen zuschreiben dürfen?

Kurz vor dem Beginn des neuen Jahrhunderts hatte KANT die Lehre von den

vor aller Erfahrung gegebenen, oder wie er sie deshalb nannte, „transcendentalen“ Formen des Anschauens und Denkens ausgebildet, in welche aller Inhalt unseres Vorstellens nothwendig aufgenommen werden mufs, wenn er zur Vorstellung werden soll. Für die Qualitäten der Empfindung hatte schon LOCKE den Antheil geltend gemacht, den unsere körperliche und geistige Organisation an der Art hat, wie die Dinge uns erscheinen. In dieser Richtung nun haben die Untersuchungen über die Physiologie der Sinne, welche namentlich JOHANNES MÜLLER vervollständigte, kritisch sichtete und dann in das Gesetz von den specifischen Energien der Sinnesnerven zusammenfafste, die vollste Bestätigung, man kann fast sagen, in einem unerwarteten Grade, gegeben und dadurch zugleich das Wesen und die Bedeutung einer solchen von vorn herein gegebenen, subjectiven Form des Empfindens in sehr entscheidender und greifbarer Weise zur Anschauung gebracht. Dieses Thema ist schon oft besprochen worden; ich kann mich deshalb hier darüber kurz fassen.

Zwischen den Sinnesempfindungen verschiedener Art kommen zwei verschiedene Grade des Unterschieds vor, erstens ein tiefer eingreifender zwischen Empfindungen, die verschiedenen Sinnen angehören, wie zwischen blau, süfs, warm, hochtönend; ich habe mir erlaubt, diesen als Unterschied in der Modalität der Empfindung zu bezeichnen. Er ist so eingreifend, dafs er jeden Übergang von einem zum anderen, jedes Verhältnifs gröfserer oder geringerer Ähnlichkeit ausschliefst. Ob z. B. süfs dem Blau oder Roth ähnlicher sei, kann man gar nicht fragen. Die zweite Art des Unterschieds dagegen, die minder eingreifende, ist die zwischen verschiedenen Empfindungen desselben Sinnes; ich beschränke auf ihn die Bezeichnung eines Unterschiedes der Qualität. J. G. FICHTE fafst diese Qualitäten je eines Sinnes zusammen als Qualitätenkreis und bezeichnet, was ich eben Unterschied der Modalität nannte, als Unterschied der Qualitätenkreise. Innerhalb jedes solchen Kreises ist Übergang und Vergleichung möglich. Von Blau können wir durch Violett und Karminroth in Scharlachroth übergehen und z. B. aussagen, dafs Gelb dem Orangeroth ähnlicher sei, als dem Blau. Die physiologischen Untersuchungen lehren nun, dafs jener tief eingreifende Unterschied ganz und gar nicht abhängt von der Art des äufseren Eindrucks, durch den die Empfindung erregt ist, sondern ganz allein und auschliefslich bestimmt wird durch den Sinnesnerven, der von dem Eindrucke getroffen worden ist. Erregung des Sehnerven erzeugt nur Lichtempfindungen, ob er nun von objectivem Licht, d. h. von Ätherschwingungen, erregt werde oder von elektrischen Strömen, die man durch das Auge leitet, oder durch Druck auf den Augapfel, oder durch Zerrung des Nervenstammes bei schneller Bewegung des Blicks. Die Empfindung, die bei den letzteren Einwirkungen entsteht, ist der des objectiven Lichts so ähnlich, dafs man lange Zeit an eine Lichtentwickelung im Auge geglaubt hatte. J. MÜLLER zeigte, dafs eine solche durchaus nicht stattfinde, dafs eben nur die Empfindung des Lichts da sei, weil der Sehnerv erregt werde.

Wie nun einerseits jeder Sinnesnerv, durch die mannigfachsten Einwirkungen erregt, immer nur Empfindungen aus dem ihm eigenthümlichen Qualitätenkreise giebt: so erzeugen andrerseits dieselben äufseren Einwirkungen, wenn sie verschiedene Sinnesnerven treffen, die verschiedenartigsten Empfindungen, diese immer entnommen aus dem Qualitätenkreise des betreffenden Nerven. Dieselben Ätherschwingungen, welche das Auge als Licht fühlt, fühlt die Haut als Wärme. Dieselben Luftschwingungen, welche die Haut als Schwirren fühlt, fühlt das Ohr als

Ton. Hier ist wiederum die Verschiedenartigkeit des Eindrucks so grofs, dafs die Physiker sich bei der Vorstellung, Agentien, die so verschieden erschienen, wie Licht und strahlende Wärme, seien gleichartig und zum Theil identisch, erst beruhigten, nachdem durch mühsame Experimentaluntersuchungen nach allen Richtungen hin die Gleichartigkeit ihres physikalischens Verhaltens festgestellt war.

Aber auch innerhalb des Qualitätenkreises jedes einzelnen Sinnes, wo die Art des einwirkenden Objects die Qualität der erzeugten Empfindung wenigstens mitbestimmt, kommen noch die unerwartetsten Incongruenzen vor. Lehrreich ist in dieser Beziehung die Vergleichung von Auge und Ohr, da die Objecte beider, Licht und Schall, schwingende Bewegungen sind, die je nach der Schnelligkeit ihrer Schwingungen verschiedene Empfindungen erregen, im Auge verschiedener Farben, im Ohr verschiedener Tonhöhen. Wenn wir uns zur gröfseren Übersichtlichkeit erlauben, die Schwingungsverhältnisse des Lichts mit den Namen der durch entsprechende Tonschwingungen gebildeten musikalischen Intervalle zu bezeichnen, so ergiebt sich Folgendes: Das Ohr empfindet etwa 10 Octaven verschiedener Töne, das Auge nur eine Sexte, obgleich die jenseits dieser Grenzen liegenden Schwingungen beim Schall wie beim Lichte vorkommen und physikalisch nachgewiesen werden können. Das Auge hat nur drei von einander verschiedene Grundempfindungen in seiner kurzen Scala, aus denen sich alle seine Qualitäten durch Addition zusammensetzen, nämlich Roth, Grün, Blauviolett. Diese mischen sich in der Empfindung, ohne sich zu stören. Das Ohr dagegen unterscheidet eine ungeheure Zahl von Tönen verschiedener Höhe. Kein Accord klingt gleich einem anderen Accorde, der aus anderen Tönen zusammengesetzt ist, während doch beim Auge gerade das Analoge der Fall ist. Denn gleich aussehendes Weifs kann hervorgebracht werden durch Roth und Grünblau des Spectrums, durch Gelb und Ultramarinblau, Grüngelb und Violett, Grün, Roth und Violett, oder durch je zwei, drei oder alle diese Mischungen zusammen. Wären im Ohre die Verhältnisse die gleichen, so wären gleichtönend Zusammenklänge, wie: *C* und *F*, *D* und *G*, *E* und *A*, oder *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *A* u. s. w. Und, was in Bezug auf die objective Bedeutung der Farbe bemerkenswerth ist, es hat noch keine einzige physikalische Beziehung aufgefunden werden können, in der gleich aussehendes Licht regelmäfsig gleichwertig wäre, als allein die Wirkung auf das Auge. Endlich hängt die ganze Grundlage der musikalischen Wirkung von Consonanz und Dissonanz von dem eigenthümlichen Phänomen der Schwebungen ab. Diese beruhen auf einem schnellen Wechsel in der Intensität des Tones, welcher dadurch entsteht, dafs zwei nahe gleich hohe Töne abwechselnd mit gleichen und entgegengesetzten Phasen zusammen wirken und demgemäfs bald starke, bald schwache Schwingungen der mitschwingenden Körper erregen. Das physikalische Phänomen würde beim Zusammenwirken zweier Lichtwellenzüge ganz ebenso vorkommen können, wie beim Zusammenwirken zweier Tonwellenzüge. Aber der Nerv mufs erstens fähig sein, von beiden Wellenzügen afficirt zu werden, und zweitens mufs er dem Wechsel von starker und schwacher Intensität schnell genug folgen können. In letzterer Beziehung ist der Gehörnerv dem Sehnerv erheblich überlegen. Gleichzeitig ist jede Faser des Hörnerven nur für Töne aus einem engen Intervall der Scala empfindlich, so dafs nur ganz nahe gelegene Töne in ihr überhaupt zusammen wirken können, weit von einander entfernte nicht, oder nicht unmittelbar. Wenn sie es thun, so rührt dies von begleitenden Obertönen oder Combinationstonen her. Daher tritt beim Ohr dieser Unterschied der schwirrenden und nicht schwirrenden Intervalle, d. h.

von Consonanz und Dissonanz ein. Jede Sehnervenfaser dagegen empfindet durch das ganze Spectrum, wenn auch verschieden stark in verschiedenen Theilen. Könnte der Sehnerv überhaupt den ungeheuer schnellen Schwebungen der Lichtoscillationen in der Empfindung folgen, so würde jede Mischfarbe als Dissonanz wirken.

Wir sehen, wie alle diese Unterschiede in der Wirkungsweise von Licht und Ton durch die Art, wie der Nervenapparat gegen sie reagirt, bedingt sind.

Unsere Empfindungen sind eben Wirkungen, welche durch äufsere Ursachen in unseren Organen hervorgebracht werden, und wie eine solche Wirkung sich äufsert, hängt natürlich ganz wesentlich von der Art des Apparats ab, auf den gewirkt wird. Insofern die Qualität unserer Empfindung uns von der Eigenthümlichkeit der äufseren Einwirkung, durch welche sie erregt ist, eine Nachricht giebt, kann sie als ein Zeichen derselben gelten, aber nicht als ein Abbild. Denn vom Bilde verlangt man irgend eine Art der Gleichheit mit dem abgebildeten Gegenstande, von einer Statue Gleichheit der Form, von einer Zeichnung Gleichheit der perspectivischen Projection im Gesichtsfelde, von einem Gemälde auch noch Gleichheit der Farben. Ein Zeichen aber braucht gar keine Art der Ähnlichkeit mit dem zu haben, dessen Zeichen es ist. Die Beziehung zwischen beiden beschränkt sich darauf, dafs das gleiche Object, unter gleichen Umständen zur Einwirkung kommend, das gleiche Zeichen hervorruft, und dafs also ungleiche Zeichen immer ungleicher Einwirkung entsprechen.

Der populären Meinung gegenüber, welche auf Treue und Glauben die volle Wahrheit der Bilder annimmt, die uns unsere Sinne von den Dingen liefern, mag dieser Rest von Ähnlichkeit, den wir anerkennen, sehr geringfügig erscheinen. In Wahrheit ist er es nicht; denn damit kann noch eine Sache von der allergröfsten Tragweite geleistet werden, nämlich die Abbildung der Gesetzmäfsigkeit in den Vorgängen der wirklichen Welt. Jedes Naturgesetz sagt aus, dafs auf Vorbedingungen, die in gewisser Beziehung gleich sind, immer Folgen eintreten, die in gewisser anderer Beziehung gleich sind. Da Gleiches in unserer Empfindungswelt durch gleiche Zeichen angezeigt wird, so wird der naturgesetzlichen Folge gleicher Wirkungen auf gleiche Ursachen auch eine ebenso regelmäfsige Folge im Gebiete unserer Empfindungen entsprechen.

Wenn also unsere Sinnesempfindungen in ihrer Qualität auch nur Zeichen sind, deren besondere Art ganz von unserer Organisation abhängt, so sind sie doch nicht als leerer Schein zu verwerfen, sondern sie sind eben Zeichen von Etwas, sei es von etwas Bestehendem oder Geschehendem, und was das Wichtigste ist, das Gesetz dieses Geschehens können sie uns abbilden.

Die Qualitäten der Empfindung also erkennt auch die Physiologie als blofse Form der Anschauung an. Kant aber ging weiter. Nicht nur die Qualitäten der Sinnesempfindungen sprach er als gegeben durch die Eigenthümlichkeiten unseres Anschauungsvermögens an, sondern auch Zeit und Raum, da wir nichts in der Aufsenwelt wahrnehmen können, ohne dafs es

zu einer bestimmten Zeit geschieht und an einen bestimmten Ort gesetzt wird; die Zeitbestimmung kommt sogar auch jeder innerlichen Wahrnehmung zu. Er bezeichnete deshalb die Zeit als die gegebene und nothwendige, transcendentale Form der inneren, den Raum als die entsprechende der äufseren Anschauung. Auch die räumlichen Bestimmungen also betrachtet KANT für ebensowenig der Welt des Wirklichen, oder „dem Dinge an sich“ angehörig, wie die Farben, die wir sehen, den Körpern an sich zukommen, sondern durch unser Auge in sie hineingetragen sind. Selbst hier wird die naturwissenschaftliche Betrachtung bis zu einer gewissen Grenze mitgehen können. Wenn wir nämlich fragen, ob es ein gemeinsames und in unmittelbarer Empfindung wahrnehmbares Kennzeichen giebt, durch welches sich für uns jede auf Gegenstände im Raum bezügliche Wahrnehmung charakterisirt: so finden wir in der That ein solches in dem Umstande, dafs Bewegung unseres Körpers uns in andere räumliche Beziehungen zu den wahrgenommenen Objecten setzt und dadurch auch den Eindruck, den sie auf uns machen, verändert. Der Impuls zur Bewegung aber, den wir durch Innervation unserer motorischen Nerven geben, ist etwas unmittelbar Wahrnehmbares. Dafs wir etwas thun, indem wir einen solchen Impuls geben, fühlen wir. Was wir thun, wissen wir nicht unmittelbar. Dafs wir die motorischen Nerven in Erregungszustand versetzen oder innerviren, dafs deren Reizung auf die Muskeln übergeleitet wird, diese sich in Folge dessen zusammenziehen und die Glieder bewegen, lehrt uns erst die Physiologie. Wiederum aber wissen wir auch ohne wissenschaftliches Studium, welche wahrnehmbare Wirkung jeder verschiedenen Innervation folgt, die wir einzuleiten im Stande sind. Dafs wir dies durch häufig wiederholte Versuche und Beobachtungen lernen, ist in einer grofsen Reihe von Fällen sicher nachweisbar. Wir können noch im erwachsenen Alter lernen, die Innervationen zu finden, die zum Aussprechen der Buchstaben einer fremden Sprache oder für eine besondere Art der Stimmbildung beim Singen nöthig sind; wir können Innervationen lernen, um die Ohren zu bewegen, um mit den Augen einwärts und auswärts zu schielen u. s. w. Die Schwierigkeit in allen diesen Fällen ist nur die, die Innervationen zu finden, die zu solchen bisher nicht ausgeführten Bewegungen nöthig sind. Wir fühlen also, dafs und wann wir Impulse geben, wir unterscheiden gleiche und ungleiche Impulse und lernen aus Erfahrung die wahrnehmbare Wirkung kennen, welche die einzelnen verschiedenen hervorbringen, aber ohne von den vermittelnden Zwischengliedern etwas zu wissen.

Wenn wir nun Impulse solcher Art geben (den Blick wenden, die Hände bewegen, hin und hergehen), so finden wir, dafs dadurch die gewissen Qualitätenkreisen angehörigen Empfindungen (nämlich die auf räumliche Objecte bezüglichen) geändert werden können; andere psychische Zustände, deren wir uns bewufst sind, Erinnerungen, Absichten, Wünsche, Stimmungen durchaus nicht. Dadurch ist in unmittelbarer Wahrnehmung ein durchgreifender Unterschied zwischen den ersteren und letzteren gesetzt. Wenn

wir also dasjenige Verhältnifs, welches wir durch unsere Willensimpulse unmittelbar ändern, dessen Art uns übrigens noch ganz unbekannt sein könnte, ein räumliches nennen wollen, so treten die Wahrnehmungen psychischer Thätigkeiten gar nicht in ein solches ein; wohl aber müssen alle Empfindungen der äufseren Sinne unter irgend welcher Art der Innervation vor sich gehen, d. h. räumlich bestimmt sein. Demnach wird uns der Raum auch sinnlich erscheinen, behaftet mit den Qualitäten unserer Bewegungsempfindungen, als das, durch welches hin wir uns bewegen, durch welches hin wir blicken können. Die Raumanschauung würde also in diesem Sinne eine subjective Anschauungsform sein, wie die Empfindungsqualitäten Roth, Süfs, Kalt. Natürlich würde dies für jene ebenso wenig wie für diese den Sinn haben, dafs die Ortsbestimmung eines bestimmten einzelnen Gegenstandes ein blofser Schein sei.

Als die nothwendige Form der äufseren Anschauung aber würde der Raum von diesem Standpunkte aus erscheinen, weil wir eben das, was wir als räumlich bestimmt wahrnehmen, als Aufsenwelt zusammenfassen. Dasjenige, an dem keine Raumbeziehung wahrzunehmen ist, begreifen wir als die Welt der inneren Anschauung, als die Welt des Selbstbewusstseins.

Und eine gegebene, vor aller Erfahrung mitgebrachte Form der Anschauung würde der Raum sein, insofern seine Wahrnehmung an die Möglichkeit motorischer Willensimpulse geknüpft wäre, für die uns die geistige und körperliche Fähigkeit durch unsere Organisation gegeben sein mufs, ehe wir Raumanschauung haben können.

444 Was zunächst die Eigenschaften der Objecte der Aufsenwelt betrifft, so zeigt eine leichte Überlegung, dafs alle Eigenschaften, die wir ihnen zuschreiben können, nur Wirkungen bezeichnen, welche sie entweder auf unsere Sinne oder auf andere Naturobjecte ausüben. Farbe, Klang, Geschmack, Geruch, Temperatur, Glätte, Festigkeit gehören der ersteren Klasse an, sie bezeichnen Wirkungen auf unsere Sinnesorgane. Glätte und Festigkeit bezeichnen den Grad des Widerstandes, den die berührten Körper entweder der gleitenden Berührung oder dem Drucke der Hand darbieten. Statt der Hand können aber auch andere Naturkörper eintreten, ebenso für die Prüfung anderer mechanischer Eigenschaften, der Elasticität und Schwere. Die chemischen Eigenschaften beziehen sich ebenfalls auf Reactionen, d. h. Wirkungen, welche der betrachtete Naturkörper auf andere ausübt. Ebenso ist es mit den anderen physikalischen Eigenschaften der Körper, den optischen, elektrischen, magnetischen. Überall haben wir es mit Wechselbeziehungen verschiedener Körper auf einander zu thun, mit Wirkungen auf einander, welche von den Kräften abhängen, die verschiedene Körper auf einander ausüben. Denn alle Naturkräfte sind Kräfte, welche ein Körper auf den anderen ausübt. Wenn wir uns die blofse Materie ohne Kräfte denken, so ist sie auch ohne Eigenschaften, abgesehen von ihrer verschiedenen Vertheilung im Raume und ihrer Bewegung. Alle Eigenschaften der Naturkörper kommen deshalb auch erst zu Tage, wenn wir sie in die entsprechende Wechselwirkung mit anderen Naturkörpern oder mit unseren Sinnesorganen setzen. Da aber solche Wechselwirkung in jedem Augenblicke eintreten kann, beziehlich auch durch unseren Willen in einem beliebigen Augenblicke herbeigeführt werden kann, und wir dann immer die eigenthümliche Art der Wechsel-

wirkung eintreten sehen, so schreiben wir den Objecten eine dauernde und stets zur Wirksamkeit bereite Fähigkeit zu solchen Wirkungen zu. Diese dauernde Fähigkeit nennen wir Eigenschaft.

Daraus geht nun hervor, dafs in Wahrheit die Eigenschaften der Naturobjecte trotz dieses Namens gar nichts dem einzelnen Objecte an und für sich Eigenes bezeichnen, sondern immer eine Beziehung zu einem zweiten Objecte (einschliefslich unserer Sinnesorgane) bezeichnen. Die Art der Wirkung mufs natürlich immer von den Eigenthümlichkeiten sowohl des wirkenden Körpers abhängen, als von denen des Körpers, auf welchen gewirkt wird. Darüber sind wir auch keinen Augenblick in Zweifel, wenn wir von solchen Eigenschaften der Körper reden, welche sich zeigen, wenn der eine auf einen anderen, ebenfalls der Aufsenwelt angehörigen Körper wirkt, z. B. bei den chemischen Reactionen. Bei den Eigenschaften dagegen, welche auf Wechselbeziehungen der Dinge zu unseren Sinnesorganen beruhen, sind die Menschen von jeher geneigt gewesen, es zu vergessen, dafs wir es auch hier mit der Reaction gegen ein besonderes Reagens, nämlich unserem Nervenapparat zu thun haben, und dafs auch Farbe, Geruch und Geschmack, Gefühl der Wärme und Kälte Wirkungen sind, die ganz wesentlich von der Art des Organs, auf welches gewirkt wird, abhängen. Allerdings sind die Reactionen der Naturobjecte auf unsere Sinne die am häufigsten und am allgemeinsten wahrgenommenen, sie haben für unser Wohlsein und für unsere Behaglichkeit die überwiegendste Wichtigkeit; das Reagens, an welchem wir sie zu erproben haben, ist uns von Natur mitgegeben, aber dadurch wird das Verhältnifs nicht anders.

Die Frage zu stellen, ob der Zinnober wirklich roth sei, wie wir ihn sehen, 445
oder ob dies nur eine sinnliche Täuschung sei, ist deshalb sinnlos. Die Empfindung von Roth ist die normale Reaction normal gebildeter Augen für das von Zinnober reflectirte Licht. Ein Rothblinder wird den Zinnober schwarz oder dunkelgraugelb sehen; auch dies ist die richtige Reaction für sein besonders geartetes Auge. Er mufs nur wissen, dafs sein Auge eben anders geartet ist, als das anderer Menschen. An sich ist die eine Empfindung nicht richtiger und nicht falscher als die andere, wenn auch die Rothsehenden eine grofse Majorität für sich haben. Überhaupt existirt die rothe Farbe des Zinnobers nur, insofern es Augen giebt, die denen der Majorität der Menschen ähnlich beschaffen sind. Genau mit demselben Rechte ist es eine Eigenschaft des Zinnobers, schwarz zu sein, nämlich für die Rothblinden. Überhaupt ist das vom Zinnober zurückgeworfene Licht an sich durchaus nicht roth zu nennen, es ist nur für bestimmte Arten von Augen roth. Wenn wir von Eigenschaften der Körper sprechen, die sie in Bezug auf andere Körper der Aufsenwelt haben, vergessen wir nicht in der Sprache auch den Körper zu bezeichnen, in Bezug auf welchen die Eigenschaft vorhanden ist. Wir sagen: „Blei ist löslich in Salpetersäure, es ist nicht löslich in Schwefelsäure". Wenn wir blos sagen wollten: „Blei ist löslich", so würden wir sogleich bemerken, dafs dies eine unvollständige Behauptung ist, und würden sogleich fragen müssen, worin es löslich sei. Wenn wir aber sagen, „Zinnober ist roth", so versteht es sich implicite von selbst, dafs er für unsere Augen roth ist, und für die Augen anderer Menschen, welche wir als gleich beschaffen voraussetzen. Wir glauben, das nicht erwähnen zu brauchen, und deshalb vergessen wir es auch wohl und können verleitet werden, zu glauben, die Röthe sei eine dem Zinnober oder dem von ihm reflectirten Lichte, ganz unabhängig von unseren Sinnesorganen zukommende Eigenschaft. Etwas anderes ist es, wenn wir behaupten, dafs die Wellenlängen des

vom Zinnober zurückgeworfenen Lichtes eine gewisse Länge haben. Das ist eine Aussage, die wir unabhängig von der besonderen Natur unseres Auges machen können, bei der es sich dann aber auch nur um Beziehungen zwischen der Substanz und den verschiedenen Ätherwellensystemen handelt.

n Übrigens halte ich die Meinung vieler modernen Kantianer, dafs eben deshalb das „Ding an sich" nur ein transcendentaler Schein sei, für eine Kant nur untergeschobene Meinung. Darüber kann nach seinen Sätzen ja kein Zweifel bleiben, dafs wir die Aufsenwelt nur durch eine Zeichensprache kennen, und dafs unsere Bilder von den Dingen in unserer Vorstellung nicht ihren Objecten gleich sind. Aber das Verhältnifs, wie eine transcendentale Form die Anschauung der Gegenstände verändern kann, ist an dem Beispiel der Qualitäten unserer Sinnesempfindungen sehr gut zu erläutern. Das Auge kann Alles, was es wahrnimmt, nur in der Form von Licht- und Farbenempfindungen wahrnehmen. Dafs es Alles nur in dieser Weise sieht, beruht in seiner ihm von Anfang an gegebenen Structur und ist ganz unabhängig von den Objecten, die es sieht. Aber dafs es an einer Stelle des Sehfeldes Dunkel sieht, an einer zweiten Hell, hier Roth, dort Gelb, und dafs diese Eindrücke mit der Zeit wechseln, das hängt sicherlich nicht blos von seiner angeborenen Anschauungsform ab, sondern von unabhängigen Ursachen, die auf das Organ einwirken, und von denen wir Näheres nur erfahren können, indem wir die Gesetze ihrer Einwirkung studiren.

Aber genau dieselbe Betrachtung läfst sich auch auf die Denkform der Causalität anwenden. Was wir zu begreifen streben, können wir nur nach dieser Form begreifen, indem wir Gesetze der Veränderungen suchen. Das Auge kann nichts sehen, was ihm nicht als Licht und Farbe erscheint; ebenso kann der Geist nichts begreifen, in dem er kein Gesetz findet. Daraus folgt aber offenbar nicht, dafs es ein leerer und trügerischer Schein sei, wenn für bestimmte Vorgänge unter bestimmten Bedingungen sich das entsprechende Gesetz finden läfst.

Wir nennen unsere Vorstellungen von der Aufsenwelt *wahr*, wenn sie uns genügende Anweisung über die Folgen unserer Handlungen der Aufsenwelt gegenüber geben und uns richtige Schlüsse über die zu erwartenden Veränderungen derselben ziehen lassen. Diese Art der Wahrheit kommt den richtig gebildeten Vorstellungen eines erwachsenen gesunden Menschen bis auf seltene Ausnahmsfälle jedenfalls zu. Nur solche synthetische Urtheile, die durch mögliche Beobachtung jetzt oder künftig bestätigt werden können, sei es in innerer oder äufserer Anschauung, haben auf diese Bezeichnung Anspruch. Rein analytische Urtheile, die nur die in der Definition des Objectes enthaltenen Merkmale diesem beilegen, würde ich nur als *richtig*, nicht als *wahr* bezeichnen. Sie sagen nichts über die Wirklichkeit aus.

Diese Art der Wahrheit, welche durch zweckmäfsig ausgeführte Handlungen und die dabei gemachten Beobachtungen bestätigt werden kann, kommt der überwiegenden Mehrzahl der menschlichen Wahrnehmungen offenbar zu. Von einer anderen wissen wir jedenfalls nichts, und nach einer anderen

zu suchen, wäre meines Erachtens ein Streben ohne Sinn, nach einem Zweck gerichtet, dessen Begriff sich selbst widerspricht.

Höchstens bei einigen Arten von Wahrnehmungen durch den inneren Sinn könnte die Frage aufgeworfen worden, ob das Bild des Objects nicht dem Object gleichen könne, z. B. die Erinnerung an eine bei besonderer Veranlassung früher aufgetauchte Erinnerung würde meistens gleichzeitig eine Erneuerung dieser Erinnerung sein und als gleichartig ihrem Object betrachtet werden können. Dagegen schon die Erinnerung an einen früher gehegten Wunsch, eine Absicht oder an einen einst gefafsten Entschlufs ist nicht nothwendig gleichzeitig eine Erneuerung des Wunsches, der Absicht, des Entschlusses. Solche Erinnerungen sind also auch nicht nothwendig genaue Abbilder ihrer Originale, wenn sie auch in unserem Bewufstsein als solche gelten. Noch weniger gilt dies für die Wahrnehmungen durch die äufseren Sinne. Denn diesen gegenüber beruht die Sicherheit, mit der wir die Wirklichkeit als solche erkennen, wesentlich darauf, dafs in solchem Falle unsere Vorstellung von den entsprechenden sinnlichen Empfindungseindrücken begleitet sein mufs, welche der Erinnerung derselben nothwendig fehlen, und in der Beziehung finden wir in unserem Bewufstsein fast immer eine feste Entscheidung sogar für jeden einzelnen Theil des Bildes, wenn es uns nur gelingt, die Aufmerksamkeit auf ihn zu richten.

Unsere Aufgabe, die Entstehung der Gesichtswahrnehmungen zu begreifen, beschränkt sich also zunächst darauf, zu begreifen, wie die Übereinstimmung zwischen unseren Wahrnehmungen und der richtigen Voraussicht ihrer durch Willensimpulse herzustellenden Veränderungen zu gewinnen sei.

Was wir unzweideutig und als Thatsache ohne hypothetische Unterschiebung finden können, ist das Gesetzliche in der Erscheinung. Von dem ersten Schritt an, wo wir vor uns weilende Objecte im Raume vertheilt wahrnehmen, ist diese Wahrnehmung das Anerkennen einer gesetzlichen Verbindung zwischen unseren Bewegungen und den dabei auftretenden Empfindungen. Schon diese ersten elementaren Vorstellungen enthalten in sich ein Denken und gehen nach den Gesetzen des Denkens vor sich. Alles, was in der Anschauung zu dem rohen Materiale der Empfindungen hinzukommt, kann in Denken aufgelöst werden.

Wenn nun „begreifen“ heifst: Begriffe bilden, und wir im Begriff einer Klasse von Objecten zusammensuchen und zusammenfassen, was sie von gleichen Merkmalen an sich tragen: so ergiebt sich ganz analog, dafs der Begriff einer in der Zeit wechselnden Reihe von Erscheinungen das zusammenzufassen suchen mufs, was in allen ihren Stadien gleich bleibt. Wir nennen, was ohne Abhängigkeit von Anderem gleich bleibt in allem Wechsel der Zeit: die Substanz; wir nennen das gleichbleibende Verhältnifs zwischen veränderlichen Gröfsen: das sie verbindende Gesetz. Was wir direct wahrnehmen, ist nur das Letztere. Der Begriff der Substanz kann nur durch erschöpfende Prüfung gewonnen werden und bleibt immer problematisch, insofern weitere Prüfung vorbehalten wird. Früher galten Licht und Wärme

als Substanzen, bis sich später herausstellte, dafs sie vergängliche Bewegungsformen seien, und wir müssen immer noch auf neue Zerlegungen der jetzt bekannten chemischen Elemente gefafst sein. Das erste Product des denkenden Begreifens der Erscheinung ist das Gesetzliche. Haben wir es so weit rein ausgeschieden, seine Bedingungen so vollständig und sicher abgegrenzt und zugleich so allgemein gefafst, dafs für alle möglicher Weise eintretenden Fälle der Erfolg eindeutig bestimmt ist, und wir gleichzeitig die Überzeugung gewinnen, es habe sich bewährt und werde sich bewähren in aller Zeit und in allen Fällen: dann erkennen wir es als ein unabhängig von unserem Vorstellen Bestehendes an und nennen es die Ursache, d. h. das hinter dem Wechsel ursprünglich Bleibende und Bestehende; nur in diesem Sinne ist meiner Meinung nach die Anwendung des Worts gerechtfertigt, wenn auch der gemeine Sprachgebrauch es in sehr verwaschener Weise überhaupt für Antecedens oder Veranlassung anwendet. Insofern wir dann das Gesetz als ein unsere Wahrnehmung und den Ablauf der Naturprocesse Zwingendes, als eine unserem Willen gleichwerthige Macht anerkennen, nennen wir es „Kraft". Dieser Begriff der uns entgegentretenden Macht ist unmittelbar durch die Art und Weise bedingt, wie unsere einfachsten Wahrnehmungen zu Stande kommen. Von Anfang an scheiden sich die Änderungen, die wir selbst durch unsere Willensacte machen, von solchen, die durch unseren Willen nicht gemacht, durch unseren Willen nicht zu beseitigen sind. Er ist namentlich der Schmerz, der uns von der Macht der Wirklichkeit die eindringlichste Lehre giebt. Der Nachdruck fällt hierbei auf die Beobachtungsthatsache, dafs der Kreis der uns zur Zeit wahrnehmbaren Gegenstände nicht durch einen bewufsten Act unseres Vorstellens oder Willens gesetzt ist. FICHTES „Nicht-Ich" ist hier der genau zutreffende negative Ausdruck. Auch dem Träumer erscheint, was er zu sehen und zu fühlen glaubt, nicht durch seinen Willen oder durch die bewufste Verkettung seiner Vorstellungen hervorgerufen zu sein, wenn auch unbewufst das letztere in Wirklichkeit oft genug der Fall sein möchte; auch ihm ist es ein Nicht-Ich. Ebenso dem Idealisten, der es als die Vorstellungswelt des Weltgeistes ansieht.

Wir haben in unserer Sprache eine sehr glückliche Bezeichnung für dieses, was hinter dem Wechsel der Erscheinungen stehend auf uns einwirkt, nämlich „das Wirkliche". Hierin ist nur das Wirken ausgesagt; es fehlt die Nebenbeziehung auf das Bestehen als Substanz, welche der Begriff des Reellen, d. h. des Sachlichen einschliefst. In den Begriff des Objectiven andererseits schiebt sich meist der Begriff des fertigen Bildes eines Gegenstandes ein, welcher nicht auf die ursprünglichsten Wahrnehmungen pafst. Auch bei dem folgerichtig Träumenden müfsten wir diejenigen seelischen Zustände oder Motive, welche ihm die dem gegenwärtigen Stande seiner erträumten Welt gesetzmäfsig entsprechenden Empfindungen zur Zeit unterschieben, als wirksam und wirklich bezeichnen. Andererseits ist klar, dafs eine Scheidung von Gedachtem und Wirklichem erst möglich wird, wenn wir

die Scheidung dessen, was das Ich ändern und nicht ändern kann, zu vollführen wissen. Diese wird aber erst möglich, wenn wir erkennen, welche gesetzmäfsigen Folgen die Willensimpulse zur Zeit haben. Das Gesetzmäfsige ist daher die wesentliche Voraussetzung für den Charakter des Wirklichen.

Dafs es eine Contradictio in adjecto sei, das Reelle oder Kants „Ding an sich“ in positiven Bestimmungen vorstellen zu wollen, ohne es doch in die Form unseres Vorstellens aufzunehmen, brauche ich wohl nicht auseinanderzusetzen. Das ist oft besprochen. Was wir aber erreichen können, ist die Kenntnifs der gesetzlichen Ordnung im Reiche des Wirklichen, diese freilich nur dargestellt in dem Zeichensystem unserer Sinneseindrücke.

Dafs unser Denken und Wahrnehmen in Bezug auf Erkenntnifs des Wirklichen mehr als dieses Ziel erreiche, mufs ich verneinen. Aber, wie ich schon bemerkt habe, schliefse ich auch die Vorgänge, von denen uns unsere innere Anschauung berichtet, unter den Begriff der wirklichen Vorgänge ein.

Die besondere Art der ursächlichen Verbindung freilich, die wir zur Erklärung der einzelnen aufgefundenen Fälle von Gesetzmäfsigkeit in der Zeitfolge der Wahrnehmungen anzunehmen haben, wird immer nur in hypothetischer Weise gefunden werden können.

Jede richtig gebildete Hypothese stellt ihrem thatsächlichen Sinne nach ein allgemeineres Gesetz der Erscheinungen hin, als wir bisher unmittelbar beobachtet haben; sie ist ein Versuch, zu immer allgemeinerer und umfassenderer Gesetzlichkeit aufzuteigen. Was sie an Thatsachen Neues behauptet, mufs durch Beobachtung und Versuch geprüft und bestätigt werden. Hypothesen, die einen solchen thatsächlichen Sinn nicht haben, oder überhaupt nicht sichere und eindeutige Bestimmungen für die unter sie fallenden Thatsachen geben, sind nur als werthlose Phrasen zu betrachten.

Jede Zurückführung der Erscheinungen auf die zu Grunde liegenden Substanzen und Kräfte behauptet etwas Unveränderliches und Abschliefsendes gefunden zu haben. Zu einer unbedingten Behauptung dieser Art sind wir nie berechtigt; das erlaubt weder die Lückenhaftigkeit unseres Wissens, noch die Natur der Inductionsschlüsse, auf denen all unsere Wahrnehmung des Wirklichen vom ersten Schritte an beruht.

Jeder Inductionsschlufs stützt sich auf das Vertrauen, dafs ein bisher beobachtetes gesetzliches Verhalten sich auch in allen noch nicht zur Beobachtung gekommenen Fällen bewähren werde. Es ist dies ein Vertrauen auf die Gesetzmäfsigkeit alles Geschehens. Die Gesetzmäfsigkeit aber ist die Bedingung der Begreifbarkeit. Vertrauen in die Gesetzmäfsigkeit ist also zugleich Vertrauen auf die Begreifbarkeit der Naturerscheinungen. Setzen wir aber voraus, dafs das Begreifen zu vollenden sein wird, dafs wir ein letztes Unveränderliches als Ursache der beobachteten Veränderungen werden hinstellen können, so nennen wir das regulative Princip unseres Denkens, was uns dazu treibt, das Causalgesetz. Wir können sagen, es

spricht das Vertrauen auf die vollkommene Begreifbarkeit der Welt aus. Das Begreifen, in dem Sinne, wie ich es beschrieben habe, ist die Methode, mittels deren unser Denken die Welt sich unterwirft, die Thatsachen ordnet, die Zukunft voraus bestimmt. Es ist sein Recht und seine Pflicht, die Anwendung dieser Methode auf alles Vorkommende auszudehnen, und wirklich hat es auf diesem Wege schon grofse Ergebnisse geerntet. Für die Anwendbarkeit des Causaulgesetzes haben wir aber keine weitere Bürgschaft, als seinen Erfolg. Wir könnten in einer Welt leben, in der jedes Atom von jedem anderen verschieden wäre, und wo es nichts Ruhendes gäbe. Da würde keinerlei Regelmäfsigkeit zu finden sein, und unsere Denkthätigkeit müfste ruhen.

Das Causalgesetz ist wirklich ein a priori gegebenes, ein transcendentales Gesetz. Ein Beweis desselben aus der Erfahrung ist nicht möglich; denn die ersten Schritte der Erfahrung sind nicht möglich, wie wir gesehen haben, ohne die Anwendung von Inductionsschlüssen, d. h. ohne das Causalgesetz; und aus der vollendeten Erfahrung, wenn sie auch lehrte, dafs alles bisher Beobachtete gesetzmäfsig verlaufen ist, — was zu versichern wir doch lange noch nicht berechtigt sind, — würde immer nur erst durch einen Inductionsschlufs, d. h. unter Voraussetzung des Causalgesetzes, folgen können, dafs nun auch in Zukunft das Causalgesetz giltig sein werde. Hier gilt nur der eine Rath: Vertraue und handle!

Das Unzulängliche
Dann wird's Ereignifs.

Ja ich kann nicht umhin, selbst den extremsten subjectiven Idealismus als eine mögliche und in sich consequente Form einer solchen Hypothese anzuerkennen, zu deren Widerlegung ich keinen entscheidenden Grund sehe, so unwahrscheinlich sie auch sein mag. Ich habe oben bemerkt, wie wichtig es erscheint, dafs wir nach Aussage unseres Bewufstseins wenigstens ein Glied von der Kette der Ursachen, die zur Wahrnehmung führen, unseren Willensimpuls, aus innerer Anschauung kennen und wissen, durch welche Motive er zu Stande gekommen ist. Von ihm aus beginnt dann, als von einem uns bekannten Anfangsglied und zu einem bekannten Zeitpunkt, die Kette der physischen Ursachen zu wirken, die in den Erfolg des Versuches ausläuft. Aber eine wesentliche Voraussetzung für die zu gewinnende Überzeugung ist die, dafs unser Willensimpuls weder selbst schon durch physische Ursachen, die gleichzeitig auch den physischen Procefs bestimmten, mit beeinflufst worden sei, noch seinerseits die darauf folgenden Wahrnehmungen beeinflufst habe.

Der letzte Zweifel kann namentlich bei unserem Thema in Betracht kommen. Der Willensimpuls für eine bestimmte Bewegung ist ein psychischer Act, die darauf wahrgenommene Änderung der Empfindung gleichfalls. Kann nun nicht der erste Act den zweiten durch rein psychische Vermittelungen zu Stande bringen? Unmöglich ist es nicht. Wenn wir träumen, geschieht so etwas. Wir glauben träumend eine Bewegung zu vollführen, und wir träumen dann weiter, dafs dasjenige geschieht, was davon die natürliche Folge sein sollte. Wir träumen, in einen Kahn zu steigen, ihn vom Land abzustofsen, auf das Wasser hinaus zu gleiten, die umringenden Gegenstände sich verschieben zu sehen u. s. w. Hierbei scheint die Erwartung des Träumenden, dafs er die Folgen seiner Handlungen eintreten sehen

werde, die geträumte Wahrnehmung auf rein psychischem Wege herbeizuführen. Wer weifs zu sagen, wie lang und fein ausgesponnen, wie folgerichtig durchgeführt ein solcher Traum werden könnte. Wenn alles darin im höchsten Grade gesetzmäfsig der Naturordnung folgend geschähe, so würde kein anderer Unterschied vom Wachen bestehen, als die Möglichkeit des Erwachens, das Abreifsen dieser geträumten Reihe von Anschauungen.

Ich sehe nicht, wie man ein System selbst des extremsten subjectiven Idealismus widerlegen könnte, welches das Leben als Traum betrachten wollte. Man könnte es für so unwahrscheinlich, so unbefriedigend wie möglich erklären — ich würde in dieser Beziehung den härtesten Ausdrücken der Verwerfung zustimmen — aber consequent durchführbar wäre es; und es scheint mir sehr wichtig, dies im Auge zu behalten.

Auch FICHTE nimmt an, dafs sich das Ich das Nicht-Ich, d. h. die erscheinende Welt, selbst setzt, weil es ihrer zur Entwickelung seiner Denkthätigkeit bedarf. Sein Idealismus unterscheidet sich aber doch von dem eben bezeichneten dadurch, dafs er die anderen menschlichen Individuen nicht als Traumbilder, sondern auf die Aussage des Sittengesetses hin als dem eigenen Ich gleiche Wesen fafst. Da aber ihre Bilder, in denen sie das Nicht-Ich vorstellen, wieder alle zusammen stimmen müssen, so fafst er die individuellen Ichs alle als Theile oder Ausflüsse des absoluten Ich. Dann war die Welt, in der jene sich fanden, die Vorstellungswelt, welche der Weltgeist sich setzte, und konnte wieder den Begriff der Realität annehmen, wie es bei HEGEL geschah.

Die realistische Hypothese dagegen traut der Aussage der gewöhnlichen Selbstbeobachtung, wonach die einer Handlung folgenden Veränderungen der Wahrnehmung gar keinen psychischen Zusammenhang mit dem vorausgegangenen Willensimpuls haben. Sie sieht als unabhängig von unserem Vorstellen bestehend an, was sich in täglicher Wahrnehmung so zu bewähren scheint, die materielle Welt aufser uns. Unzweifelhaft ist die realistische Hypothese die einfachste, die wir bilden können, geprüft und bestätigt in aufserordentlich weiten Kreisen der Anwendung, scharf definirt in allen Einzelbestimmungen und deshalb aufserordentlich brauchbar und fruchtbar als Grundlage für das Handeln. Das Gesetzliche in unseren Empfindungen würden wir sogar in idealistischer Anschauungsweise kaum anders auszusprechen wissen, als indem wir sagen: „Die mit dem Charakter der Wahrnehmung auftretenden Bewufstseinsacte verlaufen so, als ob die von der realistischen Hypothese angenommene Welt der stofflichen Dinge wirklich bestände". Aber über dieses „als ob" kommen wir nicht hinweg; für mehr als eine ausgezeichnet brauchbare und zuverlässige Hypothese können wir die realistische Meinung nicht anerkennen; nothwendige Wahrheit dürfen wir ihr nicht zuschreiben, da neben ihr noch andere unwiderlegbare idealistische Hypothesen möglich sind.

Es ist gut, dies immer vor Augen zu halten, um nicht mehr aus den Thatsachen folgern zu wollen, als in der That daraus zu folgern ist. Die verschiedenen Abstufungen der idealistischen und realistischen Meinungen sind metaphysische Hypothesen, welche, so lange sie als solche anerkannt werden, ihre vollkommene wissenschaftliche Berechtigung haben, so schädlich sie auch werden mögen, so bald man sie als Dogmen oder als angebliche Denknothwendigkeiten hinstellen will. Die Wissenschaft mufs alle zulässigen Hypothesen erörtern, um eine vollständige Übersicht über die möglichen Erklärungsversuche zu behalten. Noch nothwendiger sind die Hypothesen für das Handeln, weil man nicht immer zuwarten kann, bis eine gesicherte

wissenschaftliche Entscheidung erreicht ist, sondern sich, sei es nach der Wahrscheinlichkeit, sei es nach dem ästhetischen oder moralischen Gefühl, entscheiden mufs. In diesem Sinne wäre auch gegen die metaphysischen Hypothesen nichts einzuwenden. Unwürdig eines wissenschaftlich sein wollenden Denkers aber ist es, wenn er den hypothetischen Ursprung seiner Sätze vergifst. Der Hochmuth und die Leidenschaftlichkeit, mit der solche versteckte Hypothesen vertheidigt werden, sind die gewöhnlichen Folgen des unbefriedigenden Gefühls, welches ihr Vertheidiger in den verborgenen Tiefen seines Gewissens über die Berechtigung seiner Sache hegt.

Continuität der Empfindungsqualitäten. Nur in einer Beziehung hat sich durch die Erfahrung doch eine gewisse Art der Übereinstimmung zwischen den Abstufungen der Qualitäten der Empfindung und denen der Eigenschaften ihrer Objecte herausgestellt. Wenn sich nämlich die eine continuirlich ändert, thut es in allen bekannten Fällen die andere auch. Daher bieten allgemein die Empfindungen, die durch Reizmittel von verschwindend kleinen Intensitäts- oder Qualitätsunterschieden hervorgerufen werden, verschwindend kleine Unterschiede dar, die bis zur Unwahrnehmbarkeit herabgehen können. Dasselbe gilt für Auge und Haut auch betreffs der örtlichen Unterschiede der gereizten Stelle. Dieses Gesetz ist für die Farbenempfindungen des Lichtes von verschiedener Wellenlänge zuerst von GRASSMANN[1] ausgesprochen worden, und bisher durch die Untersuchung der kleinsten wahrnehmbaren Unterschiede in qualitativer, wie in localer Hinsicht bestätigt worden. In den Untersuchungen über die Wahrnehmungen der kleinsten Helligkeitsunterschiede, der kleinsten Farbenunterschiede, sowie in denen über die Erkennbarkeit kleinster Distanzen im Sehfelde in den §§ 18 und 21 finden sich die entsprechenden Thatsachen dargelegt, soweit sie der Lehre vom Sehen angehören.

Hypothesen über den Ursprung der richtigen Deutung unserer Sinneseindrücke. Die älteren Philosophen und Psychologen waren durchaus geneigt, alles, was in unseren sinnlichen Wahrnehmungsbildern ohne Nachdenken, ohne Besinnen augenblicklich und bei allen Individuen in gleicher Weise zu Stande kommt, unter den Begriff der Perception einzureihen und es als ein unmittelbares Product der organischen Einrichtungen des Nervensystems aufzufassen, dagegen die mögliche Mitwirkung auch sogenannter niedrigerer psychischer Processe, wie z. B. des Gedächtnisses und des Erinnerungsvermögens, dabei gänzlich zu vernachlässigen.

Dafs aber in der That die Vorstellung von der normalen Bedeutung oft wiederholter Perceptionen mit unabänderlicher Sicherheit blitzschnell und ohne das geringste Besinnen zu Stande kommen kann, dafür bietet das Verständnifs der Muttersprache ein lehrreiches Beispiel. Angeboren ist uns diese Kenntnifs nicht; wir haben auch unsere Muttersprache zweifellos gelernt, und zwar durch den Gebrauch, also durch häufig wiederholte Erfahrung. Kinder unserer Nation, die jenseits der Grenze unseres Vaterlandes geboren worden und unter fremdsprachigen Menschen aufgewachsen wären, würden eine andere Sprache erlernt haben und darin ebenso sicher geworden sein, wie wir in der unserigen. Dabei ist eine ausgebildete Sprache einer civilisirten Nation ein so reich entwickeltes Ausdrucksmittel der vielfältigsten und feinsten Schattirungen des Gedankens, dafs sie in dieser Beziehung sehr wohl mit dem Reichthum der körperlichen Formen der uns umgebenden Naturgebilde verglichen werden kann.

Das Beispiel der Sprache ist auch in anderer Beziehung lehrreich, weil es uns Aufschlufs giebt über die Frage, wie solch sicheres und übereinstimmendes

[1] Siehe § 20, S. 335.

Verständnifs eines Systems von Zeichen zu gewinnen ist, welches dem individuellen Beobachter gegenüber nur wie ein ganz willkürlich gewähltes wirken kann, wenn auch der vergleichende Philolog Spuren des Zusammenhanges einzelner Wurzeln darin zu erkennen weifs. Die Muttersprache wird nur an dem Gebrauch der Worte gelernt. Das Kind hört immer wieder den normalen Namen eines Gegenstandes aussprechen, wenn ihm dieser gezeigt oder gereicht wird, und hört immer wieder die gleiche Veränderung der ihm sichtbaren Aufsenwelt mit dem gleichen Wort bezeichnen. Dadurch heftet sich in seinem Gedächtnifs das Wort an die Sache, desto öfter und desto fester, je häufiger beide sich wiederholen. Die Wiederholung braucht aber nicht genau in allen Einzelheiten gleich zu sein, sondern der gleiche Namen kann sich auch an eine Klasse unter einander ähnlicher Gegenstände heften oder an eine Klasse ähnlicher Vorgänge. Dadurch entwickeln sich dann Namen für den Begriff einer Klasse von Anschauungsbildern, wobei der Umfang, in welchem der Name für verschiedene Modificationen derselben gebraucht zu werden pflegt, sich ebenfalls nur durch den Gebrauch der Sprache feststellt und nur ausnahmsweise durch eine begriffliche Definition unterstützt wird.

Bei diesem Vorgange, den wir aus alltäglicher Erfahrung kennen und der sich ähnlich für das Verständnifs des Wortschatzes jeder fremden Sprache, die wir später erlernen, wiederholt, ist zunächst bekannt, dafs die Bedeutung jedes Wortes sich desto fester einprägt, je öfter wiederholt wir es anwenden oder anwenden hören; ferner, dafs wir anfangs zwar noch die einzelnen Fälle, wo wir es haben anwenden hören, im Gedächtnifs behalten. Später dagegen, wenn die Zahl dieser Fälle zu grofs geworden ist, als dafs wir sie alle einzeln mit den Nebenumständen und in der Zeitfolge, mit und in denen sie eingetreten sind, aus unserer Erinnerung uns aufzählen könnten, bleibt uns nur das Gesammtergebnifs unserer bisherigen Erfahrungen stehen, dafs das bestimmte Wort diese bestimmte Reihe einander ähnlicher Gegenstände oder einander ähnlicher Vorgänge zu bedeuten pflegt; aber wir wissen nicht mehr anzugeben, bei welchen einzelnen Gelegenheiten wir zu dieser Kenntnifs gekommen sind, auch nicht, warum wir es für die eine Modification des Begriffes gebrauchen, bei einer anderen aber Anstand nehmen, dies zu thun.

Ich schliefse aus diesen Beobachtungen, dafs wir durch häufige Wiederholung gleichartiger Erfahrungen dazu gelangen können, eine regelmäfsig immer wieder eintretende Verbindung zwischen zwei verschiedenen Perceptionen, beziehlich Vorstellungen, z. B. zwischen dem Klang eines Wortes und sichtbaren oder fühlbaren Anschauungsbildern, herzustellen und immer fester zu machen, die ursprünglich gar keinen natürlichen Zusammenhang zu haben brauchen, und dafs, wenn dies geschehen ist, wir gar nicht mehr im Einzelnen anzugeben wissen, wie wir zu dieser Kenntnifs gekommen sind, und auf welche einzelne Beobachtungen sie sich stützt.

Schliefslich finden wir, dafs wir nicht nur für unsere Muttersprache, sondern auch für gut erlernte fremde Sprachen einen Grad des Verständnisses erreichen können, bei dem wir ohne Nachsinnen und Überlegung im Augenblick den Sinn dessen verstehen, was der mit uns Sprechende uns mittheilen will, und dafs wir im Stande sind, den feinsten und mannigfaltigsten Modificationen seines Gedankens und seiner Empfindung dabei zu folgen. Wenn wir aber sagen sollen, wie wir zu dieser Kenntnifs gekommen sind, so können wir dies nur in der Form des allgemeinen Satzes aussprechen, dafs wir immer gefunden haben, dafs diese Worte in diesem Sinne gebraucht wurden.

Wir kennen es aber als eine allgemeine Regel der Wirkungsweise unseres

Gedächtnisses, dafs sehr oft in gleicher Weise wiederholte und immer in derselben Art der Verbindung zusammengeschlossene Eindrücke unter übrigens gleichen Bedingungen eine viel dauerndere Spur ihrer selbst und ihrer Verbindung in uns hinterlassen und viel sicherer und schneller in dieser Verbindung wieder in das Bewufstsein treten, als solche, welche uns nur in zufälligen und wechselnden Verbindungen vorgekommen sind.

Dieselbe Regel bestätigt sich auch in einer aufserordentlich grofsen Zahl anderer Fälle. Am ausnahmslosesten wird eine Verbindung zweier Beobachtungsthatsachen sich immer wiederholen, wenn dieselbe durch ein Naturgesetz gefordert wird, welches entweder die Gleichzeitigkeit oder die regelmäfsige Aufeinanderfolge derselben in bestimmter Frist verlangt. Durch einen gesetzlosen Zufall dagegen herbeigeführte Fälle von Gleichzeitigkeit oder Aufeinanderfolge werden sich zwar auch gelegentlich wiederholen können, aber nicht ausnahmslos; dazwischen werden sich Fälle mit anderem, und selbst solche mit entgegengesetztem Erfolge einmischen, welche dann dem ausschliefslichen Übergewicht der einen Verbindung entgegenwirken und verhindern, dafs die wechselnden Zufälligkeiten derselben oder überhaupt, was in der wechselnden Erscheinungsweise des Vorganges nicht Ausdruck einer bestimmten Gesetzmäfsigkeit ist, sich ebenso sicher und unabänderlich festsetzen könne, wie das Gesetzmäfsige.

Wenn wir eine Sprache lernen, so ist das, was uns darin als gesetzmäfsig entgegentritt, nur eine von Menschen gewählte und eingehaltene Regel, der wir nicht einmal die Festigkeit und Unabänderlichkeit eines Naturgesetzes zuerkennen können. Dazu kommt, dafs die Zeichen für sehr ähnliche Objecte durchaus nicht nothwendig selbst einander ähnlich zu sein brauchen. Im Gegentheil zeigen sie meist ganz unregelmäfsige, sprungweise auftretende Verschiedenheiten. Wir dürfen uns also nicht wundern, wenn wir unter der Einwirkung aufserordentlich viel zahlreicherer und unter sich ausnahmslos übereinstimmender Beobachtungen über das Verhalten der Naturkörper gegen einander und gegen unsere Sinnes- und Bewegungsorgane zu einer viel vollständigeren Kenntnifs des normalen Verhaltens dieser Körper und ihrer Erscheinungsweise in verschiedenen Lagen und bei verschiedenen Bewegungen kommen, als sie durch die Sprache wiedergegeben werden kann. Für eine genaue Beschreibung der mannigfaltigen Sinneseindrücke, welche ein einziger Naturkörper, namentlich bei etwas unregelmäfsiger oder verwickelter Gestalt, dem Auge und der Hand darbietet, ist die Sprache viel zu arm; und eine Beschreibung eines solchen Eindruckes in Worten würde eine ungeheuer weitläuftige und zeitraubende Arbeit sein, die wir offenbar nicht auszuführen pflegen, wenn wir das Anschauungsbild eines solchen Objectes uns einprägen wollen. In diesen Fällen oder auch in solchen, wo gar keine Wortbeschreibung möglich ist, genügt uns der sinnliche Eindruck ohne Wortfassung, und wir wissen mit dessen Hülfe sogar die feinsten Eindrücke, wie die von menschlichen Gesichtszügen, wieder zu erkennen, gelegentlich nach sehr kurzer Betrachtung und nach langer Zwischenzeit.

In solchen Fällen wird kein Zweifel darüber sein können, dafs wir den sinnlichen Eindruck, den uns das Object gemacht hat, mit hinreichend viel Einzelheiten im Gedächtnifs behalten, um noch längere Zeit später eine bestimmte individuelle Physiognomie von der aller anderen Menschen sicher zu unterscheiden.

Wenn wir ein solches, nur durch sinnliche Eindrücke gegebenes Anschauungsbild eines bestimmten Objectes in uns tragen, pflegen wir dies als K e n n t n i f s des Objectes im Gegensatz zu dem in Worte zu fassenden W i s s e n zu bezeichnen. Eine solche Kenntnifs braucht sich nicht auf einzelne perspectivische Bilder des Objectes

zu beschränken, sondern kann auch die Gesammtheit der perspectivischen Bilder umfassen und vereinigen, welche nach einander durch Betrachtung von verschiedenen Gesichtspunkten aus gewonnen werden können. In der That finden wir, dafs wir von wohlbekannten Gegenständen eine Vorstellung ihrer körperlichen Form in uns tragen, welche die Gesammtheit aller der einzelnen perspectivischen Bilder, die wir von verschiedenen Gesichtspunkten aus dahin blickend gewinnen können, vertritt. Denn mit der Kenntnifs der körperlichen Form des Objectes ausgerüstet können wir uns die sämmtlichen perspectivischen Bilder, die wir bei der Ansicht von dieser oder jener Seite zu erwarten haben, deutlich vorstellen, und in der That nehmen wir sogleich Anstofs, wo ein solches Bild unserer Erwartung nicht entspricht, wie es z. B. geschehen kann, wenn durch die Änderung der Lage des Gegenstandes eine Änderung seiner Körperform eintritt. Man denke nur daran, wie aufserordentlich empfindlich ein aufmerksamer Beobachter gegen Zeichenfehler in Darstellungen von Menschen oder Pferden sich erweisen kann, oder gegen kleine Fehler perspectivischer Constructionen, welche regelmäfsige architektonische Gebilde darstellen sollen. Ja, es kommen häufig genug Fälle vor, wo man eher einen kleinen Fehler in einer perspectivischen Zeichnung bemerkt, als einen gleich grofsen in dem Umrisse eines der Rechtecke, welche Theile der Zeichnung bilden, wenn eines derselben isolirt nachconstruirt wird.

In der That ist die körperliche Form eines festen Objectes eine Gröfse, die viel mannigfaltigere constante Beziehungen zwischen ihren verschiedenen Theilen und Dimensionen darbietet, als jedes einzelne perspectivische Bild derselben, und aus der ersteren ist daher bei bekannter Lagenänderung die Änderung jeder perspectivischen Ansicht sicher herzuleiten, weil dies unter dem Eindruck eines ganz festen, wenn auch räumlichen Vorstellungsbildes geschehen kann, welches das constant bleibende Ergebnifs aller einzelnen Flächenansichten zusammenfafst, während eine einzige perspectivische Ansicht nicht die nöthigen Daten liefert, um eine ganz sichere und unzweideutige Vorstellung von der Form des Ganzen und seiner wechselnden Ansichten von anderen Seiten her zu gewinnen. Die auf die festere und einfachere Gesetzmäfsigkeit gestützte Vorstellung erweist sich hier also auch als die, welche die sicherere Anschauung giebt.

Wir werden später bei der Beschreibung der stereoskopischen Bilder noch eigenthümliche Erscheinungen zu erwähnen haben, welche dieses Verhältnifs sehr augenfällig machen. Wenn man nämlich ein Paar stereoskopische Bilder mit etwas ververwickelter Führung der Grenzlinien, z. B. eines regelmäfsigen Polyeders oder Krystallmodells, vor Augen hat, mifslingen die Versuche, das körperliche Bild aus den beiden Darstellungen zur Vereinigung zu bringen, oft im Anfang dadurch, dafs die Blickpunkte der beiden Augen leicht auf nicht einander entsprechenden Linien fortgleiten und sich wieder trennen, bis man die richtige korperliche Vorstellung von dem dargestellten Object gewonnen hat. So wie diese gefunden ist, wandern die beiden Blicklinien mit der gröfsten Sicherheit und Schnelligkeit über alle Theile der Figuren hin. Hier bewährt sich also in der That die Gesammtauffassung der Körperform gleich als die Regel für die Vorstellung, nach welcher man die beiden Blicklinien zu führen hat, um fortdauernd auf correspondirenden Punkten beider Zeichnungen zu bleiben.

In welcher Weise solche Kenntnisse der Bedeutung der Gesichtsbilder von jungen menschlichen Kindern zuerst gesammelt werden, ergiebt sich leicht, wenn wir dieselben beobachten, während sie mit den ihnen als Spielzeug dargebotenen Objecten sich beschäftigen, wie sie dieselben betasten, stundenlang von allen Seiten

betrachten, herumwenden, sie in den Mund stecken u. s. w., endlich sie herunterwerfen oder zu zerschlagen suchen und dies jeden Tag wiederholen. Man wird nicht daran zweifeln können, dafs dies die Schule ist, in der sie das natürliche Verhalten der sie umgebenden Gegenstände kennen lernen, dabei auch die perspectivischen Bilder verstehen, ihre Hände gebrauchen lernen. Ebenso lehrt die Beobachtung jüngerer Kinder, dafs sie in den ersten Wochen ihres Lebens diese Kenntnisse noch nicht haben. Wenn ihnen irgend eine instinktmäfsige Kenntnifs angeboren wäre, so sollte man erwarten, dafs es in erster Linie die Kenntnifs des Bildes der Mutterbrust sein müfste und die Kenntnifs derjenigen Bewegungen, durch welche sie sich diesem Gesichtsbilde zuwenden könnten. Aber eine solche Kenntnifs fehlt ganz offenbar. Man sieht, dafs das Kind lebhaft wird, wenn es in die Stellung für das Säugen gebracht wird, und unruhig suchend den Kopf hin und her wendet, um die Brust zu finden, aber es wendet sich in den ersten Tagen ebenso oft von der Brust ab, wie ihr zu, obgleich es diese frei erblicken kann. Offenbar weifs es in diesem frühen Alter weder das Gesichtsbild, noch die Richtung seiner Bewegungen zu deuten.

Ebenso oft sieht man, dafs ein Kind von ein oder zwei Wochen, dem man eine Kerzenflamme vorhält, unruhig wird und die Augen hin und her wendet, offenbar mit der Absicht, die helle Flamme anzustarren. Sobald es die richtige Stellung der Augen gefunden hat, folgt es langsameren Bewegungen der Flamme mit dem Blicke. Aber das Kind weifs im Anfange nicht, sicher mit dem Blick eine etwas seitlich im Gesichtsfelde befindliche Flamme zu erreichen. Nach zwei oder drei Wochen aber gelingt ihm dies verhältnifsmäfsig schnell; erst viel später gelingt das Greifen mit der Hand nach einem gesehenen Gegenstande.

Ich folgere daraus, dafs die Deutung auch einiger der einfachsten und für das menschliche Kind wichtigsten Gesichtsbilder von ihm erlernt werden mufs und nicht durch angeborene Organisation von vornherein ohne vorausgehende Erfahrung gegeben ist. Wie weit ein ähnlicher Schlufs auf neugeborene Thiere ausgedehnt werden darf, brauchen wir hier nicht zu entscheiden. Die Seelenthätigkeiten der Thiere sind vielleicht durch ihre Instincte auf engere Wege beschränkt, die das Thier auf engerem Gebiete sicherer sich bewegen lassen, als es dem freier wählenden Menschen für seine spätere Entwickelung dienlich wäre.

Ich würde diese bisher angeführten Verhältnisse nicht so ausführlich, wie ich gethan, besprochen haben, wenn mir nicht hierbei ein hartnäckiges und sehr verbreitetes Vorurtheil entgegengetreten wäre, welches, wie mir scheint, seinen Ursprung von einer abweichenden Auffassung der Begriffe: Anschauen und Denken herleitet.

Wie ich schon oben hervorgehoben habe, wird der Terminus „Denken" vorzugsweise auf diejenigen Vorstellungsverbindungen angewendet, bei denen der Vorstellende in bewufster Weise die einzelnen Sätze, aus denen der Schlufs gezogen werden kann, sich vergegenwärtigt, auf ihre Zuverlässigkeit prüft und dann zum Schlufs verbindet. Dagegen pflegt man als Anschauung eine solche Entstehung von Vorstellungen zu bezeichnen, bei denen in bewufster Weise nur der sinnliche Eindruck percipirt wird und danach die Vorstellung von der Gegenwart des Objects in das Bewufstsein springt, ohne dafs weitere Zwischenglieder des Vorstellungskreises zum Bewufstsein kommen. In der That kommt es wesentlich auf diesen Unterschied in dem klaren Bewufstwerden der Zwischensätze an, wenn es sich darum handelt, die Logik im engeren Sinne aufzubauen, d. h. zu untersuchen, wie die Vordersätze beschaffen sein müssen, damit sie die Berechtigung zu einem bindenden Schlusse

ergeben. Bei dieser Aufgabe handelt es sich in der That darum, dafs alle Vordersätze des Schlusses in vollständig klarer Weise in das Bewufstsein erhoben und kritisch geprüft werden, und solche Glieder der Vorstellungskette, die einer derartigen bewufsten Prüfung nicht mehr zugänglich sind, kommen für die logische Prüfung nicht in Betracht, oder höchstens als axiomatische Vordersätze, die man auf Treu und Glauben aus dem Vorrath des Gedächtnisses annimmt.

Aber es wäre offenbar falsch, behaupten zu wollen, dafs in unserem Bewufstsein keine Kenntnisse vorkämen aufser denen, die aus sinnlichen Perceptionen auf dem Wege des logischen Denkens entstanden wären. Die oben erwähnten Beispiele des Erlernens von Sprachen, von Fertigkeiten, vom wachsenden Verständnifs der Gesichtsbilder zeigen in der That, dafs solche Kenntnisse ohne absichtliches Nachdenken gewonnen werden können, und dafs dieselben jeden Grad der Sicherheit und Feinheit erreichen können, ohne dafs die Möglichkeit übrig bleibt, nachträglich die Richtigkeit einer solchen Induction durch die Erinnerung an die einzelnen Fälle zu prüfen, wo und zu welchen Zeiten man entsprechende Beobachtungen gemacht habe, Beobachtungen, die aufserdem zum grofsen Theil gar keine hinreichend specielle Beschreibung in Worten zulassen, sondern in voller Genauigkeit nur durch die Erinnerung an den früheren sinnlichen Eindruck wiedergegeben werden können.

Wir erkennen dadurch, dafs auch Gedächtnifsbilder reiner sinnlicher Eindrücke als Elemente von Gedankenverbindungen benutzt werden können, ohne dafs es nothwendig oder auch nur möglich ist, dieselben in Worten zu beschreiben und sie dadurch begriffsmäfsig zu fassen. Offenbar kommt ein grofser Theil der empirischen Kenntnifs des natürlichen Verhaltens der uns umgebenden Objecte in dieser Weise zu Stande. Für die Vorgänge einer solchen, dem inneren Wesen eines Schlusses entsprechenden Vereinigung sinnlicher Anschauungen scheint mir die vorher besprochene Verschmelzung der vielen perspektivischen Ansichten eines Objects in die Vorstellung seiner Körperform in drei Dimensionen ein besonders anschauliches Beispiel zu sein. In der That vertritt die lebhafte Vorstellung der körperlichen Form alle die erwähnten perspektivischen Ansichten. Die letzteren lassen sich bei hinreichend lebendiger geometrischer Einbildungskraft aus ihr wieder herleiten. Ja selbst bisher noch nicht wahrgenommene Ansichten, wie sie bei der Anlegung von Querschnitten nach gewissen Richtungen gewonnen werden könnten, sind als Folgerungen jener Vorstellung daraus ableitbar. Und andererseits, wenn wir nach dem wahren Inhalt der Vorstellung eines nach drei Dimensionen ausgedehnten Körpers fragen, so ist doch keiner zu finden aufser den Vorstellungen von der Reihe der von ihm zu gewinnenden Gesichtsbilder, mit eventueller Vorstellung solcher, die durch Zerschneiden entstehen könnten.

In diesem Sinne können wir behaupten, die Vorstellung der stereometrischen Form eines körperlichen Objects spielt ganz die Rolle eines aus einer grofsen Reihe sinnlicher Anschauungsbilder zusammengefafsten Begriffs, der aber selbst nicht nothwendig durch in Worten ausdrückbare Definitionen, wie sie der Geometer sich construiren könnte, sondern nur durch die lebendige Vorstellung des Gesetzes, nach dem seine perspektivischen Bilder einander folgen, zusammengehalten wird.

Dafs eine solche mühelose Anschauung der normalen Folge von gesetzlich verknüpften Wahrnehmungen durch hinreichend reiche Erfahrung gewonnen werden kann, habe ich zu beweisen gesucht.

So sehen wir, dafs dieser Procefs, der in seinen wesentlichen Theilen, soweit wir erkennen können, nur durch unwillkürliche und unbewufste Action unseres Gedächtnisses vollzogen wird, dennoch im Stande ist, Vorstellungsverbindungen in

uns hervorzubringen, deren Ergebnisse in allen wesentlichen Zügen mit denen des bewufsten Denkens übereinstimmen. Wie oben schon erwähnt, stärken sich gegenseitig die häufig in gleichartiger Weise wiederholten und sich in gleicher Weise folgenden Eindrücke, die wir durch unsere Sinne empfangen haben. Daneben müssen die zufällig wechselnden zurücktreten und schliefslich der Regel nach verlöschen, wenn ihr Eindruck nicht durch besondere Affecte, die sich mit ihnen verbunden hatten, hervorgehoben und vertieft worden ist.

Wie schon oben betont worden ist, werden mit der Zeit dadurch alle Theile der wahrgenommenen Erscheinungen verstärkt werden müssen, die der Einwirkung eines Naturgesetzes bei dem beobachteten Vorgange entsprechen. Die Vorstellung, dafs die in ihren Anfängen beobachtete Erscheinung nun auch in derselben Weise weiter verlaufen wird, wie wir es bisher immer percipirt haben, wird um so sicherer eintreten, je häufiger und ausnahmsloser wir gleichen Verlauf derselben schon früher wahrgenommen haben.

Eine solche Erwartung entspricht dem Resultat eines Inductionsschlusses. Ein solcher kann täuschen, wenn er auf eine ungenügende Zahl von beobachteten Fällen gestützt ist. Dafs auch Thiere dergleichen Inductionsschlüsse ziehen, und zwar viel öfter falsche, als es bei den Menschen vorkommt, erkennt man an ihrem Verhalten oft genug, z. B. wenn sie zurückschrecken vor irgend einem Gegenstande, der ähnlich aussieht, wie ein anderer, an dem sie sich bei einer früheren Gelegenheit verbrannt haben.

Ich habe in der früheren Auflage dieses Buches diese Art von Inductionsschlüssen, welche auf die Kenntnifs des regelmäfsigen Verhaltens der uns umgebenden Naturobjecte gebaut sind, als unbewufste Schlüsse bezeichnet, und finde den Namen auch jetzt noch bis zu einer gewissen Grenze zulässig und bezeichnend, da diese Associationen von Wahrnehmungen im Gedächtnifs in der That meistens so vor sich gehen, dafs man zur Zeit, wo sie entstehen, nicht auf ihr Entstehen aufmerkt, höchstens in der Weise, dafs man sich erinnert, denselben Vorgang schon öfter beobachtet zu haben, ihn also als einen schon bekannten anerkennt. Höchstens bei den ersten Wiederholungen seltenerer Beobachtungen dieser Art wird die Erinnerung an die früheren Fälle mit ihren Nebenumständen deutlicher hervortreten können, so dafs der psychische Procefs hierbei eine gröfsere Analogie mit bewufstem Denken gewinnen würde.

Inductionsschlüsse sind niemals so zuverlässig, wie wohl geprüfte Schlüsse des bewufsten Denkens. Bewufstes wissenschaftliches Denken unterscheidet sich von der durch gehäufte Erfahrung gesammelten Kenntnifs gewisser Gegenstände oder Vorgänge dadurch, dafs bei jenem zunächst eine möglichst vollständige Übersicht aller bei dem Urtheil in Betracht kommenden Fälle herbeizuschaffen versucht wird, sei es durch Sammlung schriftlicher Nachrichten oder durch Sammlung neuer Beobachtungen, eventuell absichtlich herbeigeführter Beobachtungen, d. h. Versuche. Bei letzteren ist es rathsam, vorzugsweise solche Fälle aufzusuchen, die sich in den Vorbedingungen von allen bisher beobachteten anderen unterscheiden. Die dadurch erreichbare Vollständigkeit in der Kenntnifs der mannigfaltigen Beispiele und der Bedingungen, unter denen sie so oder anders verlaufen, wird in der Regel durch die ungeordnete Zufälligkeit der alltäglichen Erfahrungen nicht erreicht werden. oder höchstens bei solchen Fällen, die sich in ungeheurer Zahl von Wiederholungen und mit verhältnifsmäfsig wenigen Abänderungen und Verwickelungen darbieten.

Falsche Inductionen bei der Deutung unserer Perceptionen pflegen wir als Sinnestäuschungen zu bezeichnen. Sie sind meist verursacht durch

Unvollständigkeit der Induction, deren häufigste Veranlassung darin zu suchen ist, dafs wir gewohnheitsmäfsig gewisse Arten des Gebrauches unserer Sinnesorgane bevorzugen, diejenigen nämlich, wobei wir erkennen, dafs wir durch sie das sicherste und übereinstimmendste Urtheil, beziehlich Schätzung über die beobachteten Objecte, ihre Form, Raumverhältnisse und Beschaffenheit uns bilden können. So pflegen wir z. B. beim Sehen die Objecte, welche unsere Aufmerksamkeit erregen, auf den beiden Stellen des genauesten Sehens in beiden Augen abzubilden, dabei aber die Reihe der hervortretenden Punkte und Linien, die das Object darbietet, mit dem Blick zu durchlaufen, wodurch wir sowohl die Reihe aller Einzelheiten kennen lernen als auch das Auge gegen die Ausbildung störender Nachbilder schützen. Wir werden im Folgenden eine ganze Reihe solcher Regelmäfsigkeiten in den Bewegungen des Auges kennen lernen, welche nicht auf einem zwingenden Mechanismus der Muskeln oder Nervenleitungen beruhen, sondern von jedem Beobachter, wenn er die entsprechenden abweichenden Innervationen zu geben gelernt hat, willkürlich geändert werden können. Dadurch läfst sich erweisen, dafs die Einhaltung der normalen Regelmäfsigkeit der Bewegungen nur ein Ergebnifs der Gewöhnung ist und nicht etwa ein durch die Organisation unseres Körpers vorgebildeter Zwang. Allerdings sind solche Gewohnheiten oft sehr tief gewurzelt und nicht ganz leicht zu überwinden. Die von der Norm abweichenden Bewegungen erfordern entschieden mehr Anstrengung und ermüden schneller. Das ist aber eine gemeinsame Eigenthümlichkeit aller ungewohnten Bewegungen unserer Muskeln, weil dieselben meist durch unzweckmäfsige, einander entgegenwirkende und daher anstrengendere Innervationen hervorgebracht zu werden pflegen, als es die gewohnten und wohl eingeübten Bewegungen thun.

Bei ungewohnten Stellungen und Bewegungen unserer Sinnesorgane kommen nun auch entsprechende ungewöhnliche Perceptionen zu Stande, für welche wir keine eingeübte Kenntnifs ihrer Bedeutung haben. Dann entstehen also falsche Deutungen derselben, und zwar kann man im Allgemeinen die Regel aufstellen, dafs bei anomaler Stellung und Bewegung der Sinnesorgane Anschauungen entstehen von scheinbaren Objecten, wie sie vorhanden sein müfsten, um bei derselben Blickrichtung unter normaler Beobachtungsweise dieselben Perceptionen hervorzubringen. Unter dieselbe Regel fallen auch die Anschauungen, welche sich bilden, wenn die Lichtstrahlen, ehe sie in das Auge fallen, von ihrem geradlinigen Wege abgelenkt werden, wie es durch Spiegelung und Brechung geschehen kann, nur dafs wir in diesem Falle die Täuschung eher als solche erkennen; aber das Bild, was sich uns darbietet, ist immer das eines Gegenstandes oder einer scheinbaren Ausbreitung von Licht im Gesichtsfelde, wie sie vorhanden sein müfste, um uns bei ungestörtem geradlinigen Einfall des objectiven Lichtes in das Auge dieselben Gesichtsbilder zu geben.

Beispiele von Fällen dieser Art werden sich im weiteren Verfolg dieser Untersuchung vielfach darbieten. Ihre Erklärungen werden sich besser bei den einzelnen Beispielen durchführen lassen unter genauer Beschreibung der Bedingungen, unter denen die einzelnen Täuschungen eintreten. Physiologisch sind diese Erscheinungen von Wichtigkeit, weil sie uns die normalen Beobachtungsmethoden des Auges kennen lehren, von denen sich meistens nachweisen läfst, dafs sie auch als diejenigen angesehen werden dürfen, welche die genauesten Schätzungen der Dimensionen durch das Augenmafs, die genauesten Vergleichungen der Farben und Helligkeiten, überhaupt eine möglichst genaue und sichere Beurtheilung der interessirenden Theile des Bildes zulassen.

Was den Grad der Tauschung bei solchen Gelegenheiten betrifft, so kann

derselbe sehr verschieden sein. Man denke z. B. an die Bilder, welche ein guter ebener Planspiegel zurückwirft, der an der Wand hängt, so dafs man nicht dahinter sehen kann. Ein solcher giebt eine der vollkommensten optischen Täuschungen, die man sich denken kann, und doch werden selbst Thiere selten durch ein Spiegelbild zu einem Irrthum verleitet; Kinder blicken, wenn sie können, wohl einen Augenblick nach der Hinterseite des Spiegels und amüsiren sich an dem Bilde und seinen Bewegungen, aber begreifen verhältnifsmäfsig schnell, dafs es eine Täuschung sei, die nicht der Wirklichkeit entspricht, und lernen das Spiegelbild bald als ihr eigenes Abbild auffassen.

Um die Täuschung kurze Zeit zu unterhalten, mufs man schon die Ränder des Spiegels gut verstecken und verhindern, dafs der Beobachter sich selbst gespiegelt sehe.

Die meisten anderen Sinnestäuschungen werden gewöhnlich schnell als solche entdeckt, weil der Beobachter sich bewufst ist, eine ungewöhnliche Art der Beobachtung anzuwenden, von der aus er geneigt ist, in die normale, ihm geläufigere überzugehen, in der die Täuschung schwindet und als solche erkannt wird. Nur wenn dazu keine Zeit ist, tritt wohl ein wirklicher Irrthum ein, der einen Augenblick dauert, z. B. bei den Lichtblitzen, die ein Stofs gegen das Auge erregt.

Deshalb erscheinen die meisten Sinnestäuschungen nur in der Weise, dafs man bemerkt, man habe ein der Wirklichkeit nicht ganz entsprechendes Bild vor sich, und dafs man nun dieses Bild vergleicht mit demjenigen, welches abgeänderte Objecte bei richtigem Sehen geben würden. Die besondere Art dieses Bildes aber kann man nur beschreiben oder im eigenen Gedächtnifs festhalten, indem man sich oder Anderen die Objecte beschreibt, welche da sein müfsten, um dem normalen Auge ein ähnliches Bild zu geben. Dann ist sogar die Form der Beschreibung: „Ich sehe das durch die Täuschung veränderte Object“ eine ganz richtige Beschreibung der Empfindung, die der Beobachter hat, und meistens wird er sich selbst bei geringer Erfahrung dabei ganz klar über die Täuschung sein, die sich ihm darbietet.

Für alle subjectiven Erscheinungen, deren Ursache an einem bestimmten Ort im Augapfel haftet, ist die Bewegung des Phänomens mit dem Blick bei Bewegung des Auges ein Kennzeichen, welches sehr schnell aufgefafst wird und die subjective Natur aufdeckt. Da nun unser Interesse überwiegend der Erkenntnifs der umgebenden Aufsenwelt zugewendet ist, so wenden wir unsere Aufmerksamkeit gewohnheitsmäfsig von solchen subjectiven Erscheinungen ab, die sich gleich als subjectiv verrathen, und es tritt sogar eine gewisse Schwierigkeit ein, dieselben zu beobachten und die ihnen entsprechende Intention der Aufmerksamkeit zu finden. Verstärkt wird diese Schwierigkeit allerdings in hohem Mafse durch die Steigerung der Reizbarkeit, welche in dauernd beschatteten Stellen der Netzhaut, beziehlich die Verminderung derselben, die in dauernd beleuchteten Stellen der Netzhaut eintritt. Hauptsächlich dieser Vorgang ist es, auf welchen das allmälige Verlöschen der im Auge streng fest liegenden Bilder zurückzuführen zu sein scheint.

Ich habe schon in § 15 hervorgehoben, wie sehr es dabei darauf ankomme, die Beschattung zwischen verschiedenen Netzhautstellen wechseln zu lassen. Von den Phänomenen des Sehnerveneintritts und der Schwierigkeit, ihn zu sehen, werden wir in § 20 zu handeln haben.

Eine eigenthümliche Rolle spielt hierbei noch die Schwierigkeit, die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Theil der vorliegenden Perceptionen zu concentriren. Einen gewissen Einflufs hat dabei eine Art willkürlicher Anstrengung. Ich ver-

weise hierbei auf die unten in § 28 besprochenen Versuche mit momentaner Beleuchtung eines vorher vollständig verdunkelten Feldes, auf welchem ein Blatt mit grofsen gedruckten Buchstaben ausgebreitet war. Vor der elektrischen Entladung erblickte der Beobachter nichts als einen mäfsig erhellten Nadelstich, der das Papier durchbohrte. Dieser wurde fest fixirt und diente zur ungefähren Orientirung über die Richtungen in dem dunklen Felde. Die elektrische Entladung erleuchtete das bedruckte Blatt für einen untheilbaren Augenblick, in welchem das Bild desselben sichtbar wurde und eine sehr kurze Zeit als positives Nachbild stehen blieb. Die Dauer der Wahrnehmbarkeit des Bildes war also auf die Dauer des Nachbildes beschränkt. Augenbewegungen von mefsbarer Gröfse konnten während der Dauer des Funkens nicht ausgeführt werden, und auch solche während der kurzen Dauer des Nachbildes konnten dessen Lage auf der Netzhaut nicht mehr ändern. Dessenungeachtet fand ich es möglich, mir vorher vorzunehmen, welchen Theil des dunklen Feldes seitlich von dem fortdauernd fest fixirten hellen Nadelstich ich im indirecten Sehen wahrnehmen wollte, und erkannte bei der elektrischen Beleuchtung dann wirklich einige Buchstabengruppen jener Gegend des Feldes, meist aber mit dazwischenbleibenden Lücken, die leer blieben. Nach starken Blitzen hatte ich in der Regel mehr Buchstaben gelesen, als nach schwächeren. Die Buchstaben des bei Weitem gröfsten Theile des Feldes waren dagegen nicht zur Wahrnehmung gekommen, auch nicht immer die in der Nähe des Fixationspunktes. Bei einer folgenden elektrischen Entladung konnte ich, immer den Nadelstich fixirend, meine Wahrnehmung auf eine andere Gegend des Feldes richten und dann dort eine Gruppe von Buchstaben lesen.

Diese Beobachtungen erweisen, wie mir scheint, dafs man durch eine willkürliche Art von Intention, auch ohne Augenbewegungen, ohne Änderungen der Accommodation die Aufmerksamkeit auf die Empfindungen eines bestimmten Theils unseres peripherischen Nervensystems concentriren, und sie gleichzeitig von allen anderen Theilen desselben ausschliefsen kann.

Bei der gewöhnlichen Art des Beobachtens richten wir allerdings auch die Aufmerksamkeit willkürlich besonderen Theilen des Gesichtsfeldes oder des Gebietes der Perceptionen überhaupt zu. Dabei folgt aber Richtung des Blicks und Accommodation der Intention der Aufmerksamkeit, und es könnte also diese Erfahrung so ausgelegt werden, dafs die Aufmerksamkeit eben stets an die Netzhautgrube geknüpft sei, und das die Willkürlichkeit ihrer Richtung nur durch die Willkürlichkeit der Augenbewegungen bedingt sei. In der That ist es recht schwer und erfordert vielfache Übung, wenn man lernen, will die Aufmerksamkeit den Bildern der seitlichen oder peripherischen Theile der Netzhaut zuzuwenden, wie dies mehr oder weniger fast alle die bisher beschriebenen Phänomene der genannten Art erkennen lassen. Als solche Bedingungen, unter denen dieselben leichter die Aufmerksamkeit auf sich ziehen, sind folgende zu bemerken:

1. Höhere Intensitäten der Phänomene, namentlich wenn dieselben die Sichtbarkeit der reellen Objecte beeinträchtigen.

2. Schneller Wechsel des Helligkeitsunterschiedes zwischen nahe benachbarten Theilen des Feldes, daher auch Bewegung begrenzter Flächenstücke im Felde, oder auch Bewegung von Schatten durch Wechsel der Beleuchtungsrichtung, wie bei den entoptischen Objecten. Wechsel der Helligkeit bringt, wie schon bemerkt, wegen der abschwächenden Wirkung der negativen Nachbilder stets einen intensiveren Eindruck hervor, als constante Intensität der Beleuchtung. Das könnte einen Theil der dadurch erfolgenden Vermehrung der Aufmerksamkeit erklären. Der unmittelbare Eindruck

im' Bewufstsein ist aber mehr, dafs jeder schnelle Wechsel im Seitentheile des Gesichtsfeldes die Frage nach dem Grunde der bemerkten Änderung anregt und daher gewöhnlich der Blick schnell nach der Stelle gerichtet wird, wo man die Veränderung bemerkt hat.

3. Das objective Interesse hat überhaupt einen mächtigen Einflufs auf die Lenkung der Aufmerksamkeit und kann sie fast vollständig beherrschen. Man denke an das Verhalten beim Lesen, wo Blick, Accommodation und Aufmerksamkeit gleichzeitig den Worten der begonnenen Zeile folgen und von Zeile zu Zeile weitergehen ohne Unterbrechung und Störung, wenigstens wenn das Gelesene interessant ist.

Dieser Einflufs des objectiven Interesses fällt aber gröfstentheils mit dem Einflufs des Willens zusammen, da sich Willensintentionen am leichtesten und häufigsten an Wünsche, d. h. Interessen, anzuknüpfen pflegen.

Dafs übrigens die willkürliche Lenkung der Aufmerksamkeit eine ermüdende Leistung des Gehirns ist, lehrt die alltägliche Erfahrung, auch wenn keinerlei Muskelarbeit damit verbunden ist.

433 Dieselbe Schwierigkeit, welche wir finden, Empfindungen subjectiver Art zu beobachten, d. h. solche, welche durch innere Ursachen hervorgerufen sind, dieselbe tritt auch ein, wenn zusammengesetzte Empfindungen, welche stets in derselben Verbindung durch irgend ein einfaches Object erregt zu werden pflegen, in ihre einzelnen Bestandtheile aufgelöst werden sollen. In solchen Fällen lehrt uns die Erfahrung ein zusammengesetztes Aggregat von Empfindungen als das Zeichen für ein einfaches Object kennen und, gewöhnt, den Empfindungscomplex als ein zusammengehöriges Ganze zu betrachten, vermögen wir in der Regel nicht ohne äufsere Hilfe und Unterstützung uns der einfachen Bestandtheile eines solchen bewufst zu werden. Beispiele dieser Art werden wir im Folgenden viele kennen lernen. Die Wahrnehmung der Richtung zum Beispiel, in welcher sich ein Object vom Auge befindet, beruht auf der Combination derjenigen Empfindungen, nach denen wir die Stellung des Auges beurtheilen, und der Unterscheidung derjenigen Netzhauttheile, welche vom Licht getroffen sind, von den nicht getroffenen. Die Wahrnehmung der körperlichen Form eines nach drei Dimensionen ausgedehnten Objects beruht auf der Combination zweier verschiedener perspectivischer Ansichten von beiden Augen. Die scheinbar einfache Qualität des Glanzes einer Fläche beruht auf verschiedener Färbung oder Helligkeit ihres Bildes in beiden Augen. Es sind diese Sätze theoretisch gefunden und können durch passende Versuche erwiesen werden, aber es ist meist sehr schwer, oft unmöglich, durch directe Beobachtung und Analyse der Empfindungen allein dies zu finden. Selbst bei viel zusammengesetzteren Empfindungen, die nur häufig wiederkehrenden zusammengesetzten Objecten entsprechen, wird die Analyse der Empfindung durch blofse Beobachtung desto schwerer, je häufiger dieselbe Zusammensetzung wiedergekehrt ist und je mehr wir uns gewöhnt haben, sie als das normale Zeichen der wirklichen Beschaffenheit des Objects zu betrachten. Als Beispiel dazu möge die bekannte Erfahrung dienen, dafs die Farben einer Landschaft viel glänzender und bestimmter heraustreten, wenn man sie bei schiefer und umgekehrter Lage

des Kopfes betrachtet, als bei der gewöhnlichen aufrechten Haltung. Bei der gewöhnlichen Art der Beobachtung suchen wir nur die Objecte als solche richtig zu beurtheilen. Wir wissen, dafs grüne Flächen aus einer gewissen Entfernung in etwas verändertem Farbenton erscheinen; wir gewöhnen uns von dieser Veränderung abzusehen und lernen das veränderte Grün ferner Wiesen und Bäume doch mit der entsprechenden Farbe naher Objecte zu identificiren. Bei sehr fernen Objecten, fernen Bergreihen bleibt von der Körperfarbe wenig zu erkennen, sie wird meist durch die Farbe der erleuchteten Luft überdeckt. Diese unbestimmt blaugraue Farbe, an welche nach oben das helle blaue Feld des Himmels oder das rothgelbe der Abendbeleuchtung, nach unten das lebhafte Grün der Wiesen und Wälder grenzt, 434
ist Veränderungen durch den Contrast sehr ausgesetzt. Es ist für uns die unbestimmte und wechselnde Farbe der Ferne, deren Unterschied zu verschiedenen Zeiten und bei verschiedenen Beleuchtungen wir wohl genauer beachten, während wir ihre wahre Beschaffenheit nicht bestimmen, da wir sie auf kein bestimmtes Object zu übertragen haben und wir eben ihre wechselnde Beschaffenheit kennen. So wie wir uns aber in ungewöhnliche Umstände versetzen, z. B. unter dem Arme oder zwischen den Beinen durchsehen, so erscheint uns die Landschaft als ein plattes Bild, theils wegen der ungewöhnlichen Lage ihres Bildes im Auge, theils weil die binoculare Beurtheilung der Entfernung, wie wir unten sehen werden, ungenauer wird. Ja es kommt wohl vor, dafs bei umgekehrtem Kopfe die Wolken richtige Perspective bekommen, während die Objecte der Erde als ein Gemälde auf senkrechter Fläche erscheinen, wie sonst die Wolken am Himmel. Damit verlieren auch die Farben ihre Beziehung zu nahen oder fernen Objecten und treten uns nun rein in ihren eigenthümlichen Unterschieden entgegen.[1] Da erkennen wir denn ohne Mühe, dafs das unbestimmte Blaugrau der weiten Ferne oft ziemlich gesättigtes Violett ist, dafs das Grün der Vegetation stufenweise durch Blaugrün und Blau in jenes Violett übergeht u. s. w. Dieser ganze Unterschied scheint mir nur darauf zu beruhen, dafs wir die Farben nicht mehr als Zeichen für die Beschaffenheit von Objecten betrachten, sondern nur noch als verschiedene Empfindungen und wir deshalb ihre eigenthümlichen Unterschiede, unbeirrt durch andere Rücksichten, genauer auffassen.

Wie sehr wir durch die Beziehung der Empfindungen auf äufsere Objecte an der Perception der einfachsten Verhältnisse der Empfindungen selbst gestört werden, wird sich namentlich auch in der Schwierigkeit zeigen, mit der wir die binocularen Doppelbilder wahrnehmen, wenn dieselben als Bilder ein und desselben äufseren Objects aufgefafst werden können.

Die gleichen Erfahrungen können wir im Gebiete anderer Sinnesempfindungen in gleicher Weise machen. Die Empfindung der Klangfarbe eines Schalls ist, wie ich anderwärts[2] gezeigt habe, zusammengesetzt aus einer Reihe von Empfindungen seiner einzelnen Partialtöne (Grundton und

[1] Dieselbe Erklärung bei O. N. Rood, in *Silliman Journal* (2) XXXII, p. 184—185, 1861.
[2] Helmholtz, *Die Lehre von den Tonempfindungen*. Braunschweig, 1. Aufl. 1862. 4. Aufl. 1877.

harmonische Obertöne), aber es ist aufserordentlich schwer, die zusammengesetzte Empfindung des Klanges in diese ihre Bestandtheile aufzulösen. Die Tastempfindung des Nassen ist zusammengesetzt aus der der Kälte und des leichten Gleitens über die Oberfläche. Wenn wir deshalb unvermuthet ein kaltes glattes Metallstück berühren, glauben wir oft, etwas Nasses berührt zu haben. Beispiele dieser Art würden sich noch viele häufen lassen. Sie alle zeigen, dafs wir aufserordentlich gut eingeübt sind, aus unseren Sinnesempfindungen die objectiven Beschaffenheiten der Objecte der Aufsenwelt zu ermitteln, in der Beobachtung isolirter Empfindungen aber viel weniger sicher sind, und dafs uns die eingeübte Beziehung auf die Aufsenwelt sogar hindert, die reinen Empfindungen uns deutlich zum Bewufstsein zu bringen.

435 Auch ist dies nicht blos für die qualitativen Unterschiede der Empfindung geltend, es gilt ebenso für die Wahrnehmung räumlicher Verhältnisse. Die Bewegung eines gehenden Menschen zum Beispiel ist uns ein vertrauter und gewohnter Anblick. Wir betrachten sie als zusammenhängendes Ganze und werden uns höchstens ihrer auffallendsten Einzelheiten bewufst. Es gehört grofse Aufmerksamkeit dazu und eine besondere Wahl des Gesichtspunkts, um die senkrechten und seitlichen Schwankungen des Körpers eines Gehenden zu erkennen. Wir müssen passend gelegene Punkte oder Linien des Hintergrunds wählen, mit dem wir die Lage seines Kopfes vergleichen. Man betrachte aber einmal ferne gehende Menschen durch ein astronomisches Fernrohr, welches umgehrte Bilder zeigt, welch ein seltsames Hüpfen und Wiegen des Körpers die Gehenden hervorbringen. Dabei hat man gar keine Schwierigkeiten mehr, die einzelnen Schwankungen des Körpers und manche andere Einzelheiten des Ganges, namentlich auch die individuellen Verschiedenheiten und deren Grund zu erkennen, nur weil dieser Anblick nicht mehr der alltäglich gewohnte ist. Dagegen tritt im umgekehrten Bilde der Charakter des Ganges, ob er leicht oder schwerfällig, würdevoll oder anmuthig ist, nicht mehr so gut hervor, wie im aufrechten.

Es kann unter diesen Umständen oft recht schwer werden, zu beurtheilen, was in unseren durch den Gesichtssinn gewonnenen Anschauungen unmittelbar durch die Empfindung, und was im Gegentheil durch Erfahrung und Einübung bedingt ist. An diese Schwierigkeit knüpft sich auch der hauptsächlichste principielle Gegensatz, welcher zwischen verschiedenen Forschern in diesem Gebiete besteht. Die einen sind geneigt, dem Einflufs der Erfahrung einen möglichst breiten Spielraum einzuräumen, namentlich alle Raumanschauung daraus herzuleiten; wir können diese Ansicht als die *empiristische Theorie* bezeichnen. Die andern müssen allerdings den Einflufs der Erfahrung für eine gewisse Reihe von Wahrnehmungen zugeben, glauben aber für gewisse, bei allen Beobachtern gleichförmig eintretende elementare Anschauungen ein System von angeborenen und nicht auf Erfahrung begründeten Anschauungen, namentlich der Raumverhältnisse, voraussetzen zu müssen. Wir dürfen diese letztere Ansicht im Gegensatz zur

ersteren wohl als die *nativistische Theorie* der Sinneswahrnehmungen bezeichnen.

In diesem Streite sind, wie ich glaube, folgende Grundsätze festzuhalten.

Wenn wir den Namen der *Vorstellung* beschränken auf das Erinnerungsbild von Gesichtsobjecten, welches von keinen gegenwärtigen sinnlichen Empfindungen begleitet ist, den der *Anschauung* auf die von den bezüglichen sinnlichen Empfindungen begleitete Wahrnehmung, den der *Perception* auf eine solche Anschauung, in der nichts enthalten ist, was nicht aus den unmittelbar gegenwärtigen sinnlichen Empfindungen hervorgeht, also eine Anschauung, wie sie auch ohne alle Erinnerung an früher Erfahrenes sich bilden könnte, so ist zunächst klar, dafs ein und dieselbe Anschauung in sehr verschiedenem Mafse von den entsprechenden sinnlichen Empfindungen begleitet sein kann, dafs also Vorstellung und Perception in den verschiedensten Verhältnissen sich zur Anschauung verbinden können.

Wenn ich mich in einem bekannten Zimmer befinde bei hellem Sonnen- 436
schein, so habe ich eine von sehr energischen Empfindungen reichlich begleitete Anschauung. In demselben Raum werde ich Abends in der Dämmerung nur die helleren Objecte erkennen können, namentlich die Fenster, aber was ich wirklich noch erkenne, schmilzt mit meinen Gedächtnifsbildern, die das Zimmer betreffen, so zusammen, dafs ich immer noch im Stande sein werde, mich in demselben sicher umher zu bewegen und Gegenstände, die ich suche, zu finden, selbst wenn ich von ihnen nur ein schattenhaftes Bild erhaschen kann, was ohne meine vorgängige Kenntnifs durchaus ungenügend wäre, sie zu erkennen. Endlich kann ich mich in demselben Raume in absolutem Dunkel befinden, und mich doch, vermöge der Erinnerung an die früher von ihm erhaltenen Gesichtsbilder in ihm zurechtfinden, so dafs das Anschauungsbild durch immer weitere Beschränkung des sinnlichen Materials endlich auf das reine Vorstellungsbild zurückgeführt werden und in dieses allmählig übergehen kann. Meine Bewegungen werden allerdings um so unsicherer, meine Anschauung um so ungenauer werden, je mehr das sinnliche Material entzogen wird, indessen wird kein eigentlicher Sprung stattfinden, sondern Empfindung und Erinnerung werden sich fortdauernd ergänzen, nur in verschiedenem Mafse.

Aber selbst, wenn wir ein solches Zimmer bei vollem Sonnenschein beschauen, so zeigt eine leichte Ueberlegung, dafs auch dann ein grofser Theil unseres Anschauungsbildes auf Momenten der Erinnerung und Erfahrung beruhen mag. Unsere Gewöhnung an die perspectivischen Verziehungen der Bilder parallelepipedischer Körper und an die Form der Schlagschatten ist bei der Beurtheilung ihrer Form und ihrer Gröfse von beträchtlichem Einflusse, wie wir später sehen werden. Schliefsen wir, während wir das Zimmer betrachten, ein Auge, so glauben wir es nicht weniger deutlich und bestimmt vor uns zu sehen, als mit zwei Augen, und doch würde uns nun genau dasselbe Gesichtsbild gegeben werden, wenn alle Punkte des Zimmers

so verschoben würden, dafs sie ihre Entfernung vom Auge beliebig änderten, aber auf denselben Visirlinien blieben.

Während wir also in Wahrheit in einem solchen Falle eine äufserst vieldeutige sinnliche Erscheinung vor uns haben, geben wir ihr doch eine ganz bestimmte Auslegung, und es ist gar nicht leicht, sich dessen bewufst zu werden, dafs das einäugige Bild eines solchen wohlbekannten Gegenstandes eine viel mangelhaftere Wahrnehmung bedingt, als das der beiden Augen. So ist es auch, wenn ungeübte Beobachter stereoskopische Photographien betrachten, oft genug schwer herauszubringen, ob sie die eigenthümliche Täuschung, die das Instrument giebt, erkennen oder nicht.

Wir sehen also, wie hierbei die Erinnerungsbilder aus früheren Erfahrungen zusammenwirken mit gegenwärtigen Sinnesempfindungen, um ein Anschauungsbild hervorzubringen, welches sich unserem Wahrnehmungsvermögen mit zwingender Macht aufdrängt, ohne dafs darin für das Bewufstsein sich deutlich trennt, was durch Erinnerung, was durch gegenwärtige Wahrnehmung gegeben ist.

Noch schlagender ist der Einflufs des Verständnisses der Sinnesempfindungen, wenn in einzelnen Fällen, namentlich bei unvollkommener Be-
437 leuchtung ein Gesichtsbild im Anfange unverständlich ist, weil wir ihm nicht die richtigen Tiefendimensionen zu geben wissen, wenn wir z. B. irgend ein fernes Licht für nah, oder ein nahes für fern halten. Plötzlich fällt uns ein, was es ist, sogleich entwickelt sich unter dem Einflusse des richtigen Verständnisses auch das richtige Anschauungsbild in seiner vollen Energie, und wir sind nicht im Stande, von diesem zu der früheren unvollkommenen Anschauung zurückzukehren.

Sehr häufig kommt dies namentlich bei complicirten stereoskopischen Zeichnungen von Krystallformen und anderen vor, die in vollkommener sinnlicher Klarheit zur Anschauung kommen, sobald es gelungen ist, das richtige Verständnifs erst einmal zu gewinnen.

Dergleichen Erfahrungen, die jeder Leser gelegentlich gemacht haben wird, beweisen, dafs die aus der Erfahrung hergeleiteten Momente in den Sinneswahrnehmungen sich mit eben solcher zwingenden Kraft geltend machen können, wie die aus gegenwärtigen Empfindungen hergeleiteten, und es ist dies auch von allen den Beobachtern, die sich eingehend mit der Theorie der Sinneswahrnehmungen beschäftigt haben, immer zugegeben worden, selbst von denen, welche geneigt sind, der Erfahrung so wenig Spielraum als möglich, einzuräumen.

Daher mufs jedenfalls die Möglichkeit zugegeben werden, dafs auch in dem, was dem Erwachsenen als unmittelbare sinnliche Anschauung erscheint, noch eine Menge von einzelnen Momenten stecken, die in der That Product der Erfahrung sind, obgleich es vorläufig schwer ist, hier die Grenze zu ziehen.

Ich glaube nun, dafs unsere bisherigen Erfahrungen uns berechtigen, den Satz aufzustellen, dafs k e i n e u n z w e i f e l h a f t g e g e n w ä r t i g e

Empfindung durch einen Act des Verständnisses beseitigt und überwunden werden kann, sondern wenn wir auch noch so gut erkennen, dafs dieselbe auf irgend eine anomale Weise zu Stande gekommen sei, so schwindet doch die Sinnestäuschung nicht durch das Verständnifs des Vorganges. Wir können die Aufmerksamkeit von Empfindungen ablenken, namentlich, wenn es schwache und gewohnte Empfindungen sind, aber so wie wir auf diejenigen Verhältnisse der Aufsenwelt merken, die mit diesen Empfindungen in Verbindung stehen, werden wir gezwungen sein, dieselben zu bemerken. So können wir die Temperaturempfindung unserer Haut, wenn sie nicht sehr lebhaft ist, und die Berührungsempfindungen, welche unsere Kleider verursachen, vergessen, so lange wir uns mit ganz anderen Dingen beschäftigen. So wie wir aber unsere Aufmerksamkeit darauf lenken, ob es warm oder kalt sei, werden wir nicht im Stande sein, das Gefühl von Wärme in das von Kälte zu verwandeln, etwa, weil wir wissen, dafs es herrührt von anstrengender Bewegung und nicht von der Temperatur der uns umgebenden Luft. Ebenso wenig schwindet der Lichtschein beim Druck auf das Auge durch bessere Einsicht in das Wesen des Processes, vorausgesetzt, dafs wir unsere Aufmerksamkeit dem Gesichtsfelde zugewendet haben, und nicht etwa dem Ohre oder der Haut.

Andererseits können wir auch vielleicht nicht im Stande sein, einen Empfindungseindruck zu isoliren, weil er eingeht in das zusammengesezte sinnliche Zeichen eines äufseren Objects. Dann zeigt aber die richtige Auffassung des Objects, dafs die betreffende Empfindung percipirt und vom 438
Bewufstsein verwendet worden ist.

Ich schliefse daraus, dafs nichts in unseren Sinneswahrnehmungen als Empfindung anerkannt werden kann, was durch Momente, die nachweisbar die Erfahrung gegeben hat, im Anschauungsbilde überwunden und in sein Gegentheil verkehrt werden kann.

Was also durch Erfahrungmomente überwunden werden kann, werden wir selbst als Product der Erfahrung und Einübung zu betrachten haben. Es wird sich zeigen, dafs wenn wir dieser Regel folgen, nur die Qualitäten der Empfindung als wirkliche reine Empfindung zu betrachten sind, bei weitem die meisten Raumanschauungen aber als Product der Erfahrung und Einübung.

Dagegen folgt nicht, dafs Anschauungen, die gegen unsere bessere bewufste Einsicht Stand halten und uns als Sinnestäuschungen stehen bleiben, nicht doch auf Erfahrung und Einübung beruhen könnten. Unsere Kenntnifs der Farbenveränderungen, welche die Trübung der Luft an fernen Gegenständen hervorbringt, der perspectivischen Verziehungen und der Form der Schlagschatten beruht unzweifelhaft auf Erfahrung, und doch werden wir vor einem guten Landschaftsbilde den vollkommenen sinnlichen Eindruck der Ferne und der körperlichen Gestalt darauf befindlicher Gebäude haben, trotzdem wir wissen, dafs alles auf die Leinwand gezeichnet ist.

Ebenso ist unsere Kenntnifs des zusammengesetzten Klangs der Vocale

jedenfalls aus der Erfahrung entnommen, und doch bekommen wir den sinnlichen Eindruck des Vocalklangs durch Zusammensetzung von einzelnen Stimmgabeltönen, wie ich dies gezeigt habe, und fassen den Klang als ein Ganzes, obgleich wir wissen, dafs er in diesem Falle wirklich zusammengesetzt ist.

455 Die ältere Geschichte der Lehre von den Sinneswahrnehmungen im Allgemeinen fällt zusammen mit der Geschichte der Philosophie, wie schon am Schlusse des siebzehnten Paragraphen auseinandergesetzt ist. Die Physiologen des 17. und 18. Jahrhunderts kamen mit ihrer Untersuchung meist nur bis zum Netzhautbilde, und glaubten, dafs mit dessen Bildung alles abgemacht sei, daher sie denn auch durch die Fragen, warum wir die Gegenstände aufrecht sehen und warum wir sie einfach sehen trotz der Existenz zweier verkehrten Nethautbilder, nicht wenig in Verlegenheit gesetzt wurden.

Unter den Philosophen hat zuerst CARTESIUS sich eingehender mit den Gesichtswahrnehmungen beschäftigt mit Berücksichtigung der naturwissenschaftlichen Kenntnisse seiner Zeit. Er erkennt die Qualitäten der Empfindung als wesentlich subjectiv an, hält aber die Anschauungen der quantitativen Verhältnisse der Gröfse, Gestalt, Bewegung, Lage, Dauer, Zahl der Gegenstände für objectiv richtig anschaubar. Zur Erklärung der Richtigkeit dieser Vorstellungen nimmt er aber wie die ihm nachfolgenden idealistischen Philosophen ein System angeborener Ideen an, die mit den Dingen übereinstimmten. Diese Theorie wurde dann später am consequentesten und reinsten von LEIBNITZ entwickelt.

BERKELEY untersuchte eingehend den Einflufs des Gedächtnisses auf die Gesichtswahrnehmungen und die inductiven Schlüsse, die dabei vorkommen, von denen er sagt, dafs sie so schnell geschehen, dafs wir sie nicht bemerken, wenn wir nicht absichtlich darauf achten. Diese empirische Basis führte ihn dann freilich zu der Behauptung, dafs nicht blos die Qualitäten der Empfindung, sondern auch die Wahrnehmungen überhaupt nur innere Processe seien, denen nichts äufseres entspräche. Er wird zu dieser Schlufsfolgerung verleitet durch den falschen Satz, die Ursache (das wahrgenommene Object) müsse ihrer Wirkung (der Vorstellung) gleichartig, also auch ein geistiges Wesen, nicht ein reales Object sein.

Die Erkenntnifstheorie von LOCKE leugnete die angeborenen Ideen und suchte alle Erkenntnifs auf Empirie zu gründen; das Streben endete aber bei HUME in der Leugnung aller Möglichkeit von objectiver Erkenntnifs.

456 Der wesentlichste Schritt, um die Frage auf den richtigen Standpunkt zu stellen, wurde von KANT in seiner Kritik der reinen Vernunft gethan, in der er allen reellen Inhalt des Wissens aus der Erfahrung ableitete, von diesem aber unterschied, was in der Form unserer Anschauungen und Vorstellungen durch die eigenthümlichen Fähigkeiten unseres Geistes bedingt ist. Das reine Denken *a priori* kann nur formal richtige Sätze ergeben, die als nothwendige Gesetze des Denkens und Vorstellens allerdings absolut zwingend erscheinen, aber keine reale Bedeutung für die Wirklichkeit haben, also auch niemals irgend eine Folgerung über Thatsachen einer möglichen Erfahrung zulassen können.

In dieser Auffassung ist die Wahrnehmung anerkannt als eine Wirkung, welche das wahrgenommene Object auf unsere Sinnlichkeit hat, welche Wirkung in ihren näheren Bestimmungen ebenso gut abhängt von dem Wirkenden wie von der Natur dessen, auf welches gewirkt wird. Auf die empirischen Verhältnisse wurde dieser Standpunkt namentlich von JOH. MÜLLER übertragen in seiner Lehre von den specifischen Energien der Sinne.

Die nachfolgenden idealistischen Systeme der Philosophie von J. G. FICHTE, SCHELLING, HEGEL haben allen Nachdruck wieder darauf gelegt, dafs die Vorstellung wesentlich abhängig sei von der Natur des Geistes, und den Einflufs, den das Wirkende auf die Wirkung hat, vernachlässigt. Sie sind deshalb auch für die Theorie der Sinneswahrnehmung von geringem Einflusse gewesen.

KANT hatte Raum und Zeit kurzweg als gegebene Formen aller Anschauung hingestellt, ohne weiter zu untersuchen, wie viel in der näheren Ausbildung der einzelnen räumlichen und zeitlichen Anschauungen aus der Erfahrung hergeleitet sein könnte. Diese Untersuchung lag auch aufserhalb seines Weges. So betrachtete er namentlich die geometrischen Axiome auch als ursprünglich in der Raumanschauung gegebene Sätze, eine Ansicht, die ich zu widerlegen gesucht habe.[1] Seinem Vorgange schlossen sich JOH. MÜLLER und die Reihe von Physiologen an, welche die nativistische Theorie der Raumanschauung auszubilden suchten. JOH. MÜLLER selbst nahm an, dafs die Netzhaut in ihrer räumlichen Ausdehnung sich selbst empfinde vermöge einer angeborenen Fähigkeit dazu, und dafs die Empfindungen beider Netzhäute hierbei verschmölzen. Als derjenige, welcher in neuerer Zeit am consequentesten diese Ansicht durchzuführen und den neueren Entdeckungen anzupassen gesucht hat, ist E. HERING zu nennen.

Schon vor MÜLLER hatte STEINBUCH eine Herleitung der räumlichen Einzelanschauungen mittelst der Bewegungen der Augen und des Körpers versucht. Von philosophischer Seite nahmen HERBART, LOTZE, WAITZ und CORNELIUS dieselbe Aufgabe in Angriff. Von empirischer Seite war es später namentlich WHEATSTONE, welcher durch die Erfindung des Stereoskops einen mächtigen Anstofs zur Untersuchung des Einflusses der Erfahrung auf unsere Gesichtsanschauungen gab. Aufser kleineren Beiträgen, die ich selbst in verschiedenen Arbeiten zur Lösung dieser Aufgabe gegeben habe, sind hier als Versuche, eine empiristische Ansicht durchzuführen, zu nennen: die Schriften von NAGEL, WUNDT, CLASSEN. Das Nähere über diese Untersuchungen und Streitpunkte ist in den folgenden Paragraphen zu erörtern.

## § 27. Die Augenbewegungen. 457

Da die Bewegungen der Augen eine wesentliche Rolle bei der Bildung der Raumanschauungen durch den Gesichtssinn spielen, so müssen wir zunächst mit ihnen näher bekannt werden.

Der Augapfel hat zwar keine aus Knochen fest geformte regelmäfsige Gelenkhöhle, wie wir sie in den Gelenken der Extremitäten finden; die Augenhöhle, in der er liegt, ist vielmehr, wie *Fig. 30*, S. 42, zeigt, im Ganzen eine Höhlung von der Gestalt einer vierkantigen Pyramide, deren Spitze nach hinten sieht, und welche sich in keiner Weise dem nahehin kugelig geformten Augapfel anschliefsen kann. Die Lücken, welche zwischen dem letzteren und den knöchernen Wänden der Höhle bleiben, werden durch sehr fetthaltiges loses Bindegewebe ausgefüllt, in welchem die Muskeln, Nerven, Gefässe des Auges, die Thränendrüse u. s. w. liegen. Verhältnifsmäfsig am engsten sind diese Lücken längs des vorderen Randes der Augenhöhle: es bleibt dort, namentlich nach oben, innen und aufsen nur ein ziemlich schmaler Spalt zwischen dem Augapfel und dem Knochen übrig, wie man leicht fühlen kann, wenn man die Fingerspitze dazwischenzuschieben sucht. Man kann dies nicht, ohne sogleich Druckbilder hervorzubringen; nur nach unten und aufsen gegen das Jochbein hin ist die Lücke etwas gröfser. Dadurch ist nun die weiche Masse von Fett, Muskeln, Nerven, Gefäfsen und Drüsen, welche hinter dem Augapfel liegt, in eine Höhlung eingeschlossen, welche fast vollständig von festen Wänden umgeben ist, und nur wenige

[1] Siehe: H. v. HELMHOLTZ. *Populäre wissenschaftliche Reden und Vorträge.* Bd. II. S. 1.

und schmale Spalten von nachgiebigerer Substanz darbietet. Diese Höhlung wird nach hinten und nach den Seiten von den knöchernen Wänden der Augenhöhle, nach vorn durch den Augapfel selbst gebildet. Da nun die genannten organischen Massen, Fett, Muskeln, Nerven u. s. w. fast ganz incompressibel sind, wie das Wasser, welches den gröſsten Theil ihres Gewichts ausmacht, und weder merklich ausweichen, noch an Volum zunehmen können, so sind zunächst alle Bewegungen des Augapfels an die Bedingung gebunden, daſs durch sie das Volumen der hinter dem Augapfel gelegenen Theile nicht verändert werden kann.

Der Augapfel kann also unter normalen Verhältnissen nicht in die Augenhöhle hineindringen oder aus ihr heraustreten, wenigstens nicht bei den schnell wechselnden Zusammenziehungen seiner Muskeln. Wenn Blut stärker in die Gefäſse der Augenhöhle eindringt oder aus ihnen sich entleert, wie es z. B. nach erschöpfenden Krankheiten und im Tode geschieht, so
458 wird dadurch allerdings das Volumen der weichen hinter dem Augapfel liegenden Theile verändert, und dieser dringt vor oder zieht sich zurück. Dergleichen Veränderungen können aber bei den willkürlichen Bewegungen des Auges nicht eintreten. Wenn man versucht, den Augapfel mit den aufgelegten Fingern in die Augenhöhle zurückzudrängen, so fühlt man gleich einen erheblichen Widerstand, noch ehe eine merkliche Verschiebung des Auges eingetreten ist, und man bemerkt die subjectiven Erscheinungen, welche der Druck im Auge hervorruft. Dabei sieht man die Weichtheile neben dem Augapfel, namentlich unten hervordrängen; so wie man mit dem Drucke nachläſst, ziehen diese sich aber auch vermöge ihrer elastischen Spannung wieder zurück.

Ebenso wenig kann sich der Augapfel als Ganzes nach rechts und links oder nach oben und unten verschieben, weil ihm hier überall die benachbarten Theile des vorderen knöchernen Randes der Augenhöhle in den Weg treten.

Dadurch sind also alle Verschiebungen des Augapfels als Ganzes, das heiſst, alle Verschiebungen, bei welchen sämmtliche Puncte des Augapfels sich in gleicher Richtung bewegen, unmöglich gemacht, und es bleiben als ausführbar nur Drehungen übrig, das heiſst Bewegungen, bei welchen eine Seite des Augapfels in die Augenhöhle hineintritt, während eine andere heraustritt. Im Ganzen hat also die Art, wie der Augapfel eingebettet ist, für die Bewegungen desselben dasselbe mechanische Resultat, als wäre er ein kugeliger Gelenkkopf, in einer kugeligen Pfanne befestigt, wie der Kopf des Oberschenkelbeins.

Wenn der Augapfel also nur drehende Bewegungen ausführen kann, so ist die erste Frage die nach dem Mittelpunkte dieser Drehungen.

Professor Junge aus Petersburg hat in meinem Laboratorium den Drehpunkt des Auges zu bestimmen gesucht, indem er beobachtete, um wie viel sich die Lichtreflexe beider Hornhäute einander näherten, wenn die Gesichtslinien aus paralleler Stellung in einen bestimmten Convergenzwinkel über-

gingen. Es zeigte sich indessen, daſs die Ellipticität der Hornhäute einen merklichen Einfluſs auf die Berechnung der Resultate hatte, und da es sehr mühsam ist, diese Ellipticität für viele Augen zu bestimmen, so war die Methode nicht eben ausgedehnter Anwendung fähig, obgleich sie übrigens sehr genaue Resultate gab.

Donders und Doijer[1] haben deshalb eine einfachere Methode angewendet, welche sich als zureichend genau bewährte. Es wurde zuerst der horizontale Durchmesser der Hornhaut mit dem Ophthalmometer gemessen, und die Lage der Gesichtslinie gegen die Hornhautaxe bestimmt. Dann wurde ein feiner senkrechter Faden unmittelbar vor dem Auge ausgespannt, und beobachtet, wie weit das Auge nach rechts und links blicken muſste, damit bald der eine, bald der andere Rand der Hornhaut hinter den Faden trat. Aus diesem Winkel uud der bekannten Breite der Drehungen lieſs sich dann die Lage des Drehpunkts berechnen. Das Nähere darüber unten.

Danach ergab sich, daſs bei 19 normalsichtigen Augen der Drehpunkt zwischen 10,42 und 11,77 Mm. hinter der durch den Rand der Hornhaut gelegten Ebene lag, im Mittel 10,957; oder 13,557 hinter dem Scheitel der Hornhaut, und etwa 10 Mm. vor der hinteren Fläche der Sclerotica, der 459
letzteren also etwas näher als der Basis der Hornhaut. Die Lage des Drehpunkts hängt eben hauptsächlich ab von der Form der hinteren Hälfte des Augapfels, weil nur diese in Berührung kommt mit dem widerstehenden weichen Polster, welches den Grund der Augenhöhle ausfüllt. Diese hintere Hälfte des Augapfels scheint bei normalen Augen einem stärker abgeplatteten Ellipsoide anzugehören, als die vordere; der Drehpunkt muſs etwa mit dem Mittelpunkte dieses Ellipsoids zusammenfallen.

Kurzsichtige Augen sind nach hinten verlängert; bei ihnen liegt deshalb der Drehpunkt auch weiter nach hinten als bei normalsichtigen. Donders fand ihn im Maximo bis zu 13,26 Mm. hinter der Basis der Hornhaut oder 15,86 hinter ihrem Scheitel liegend. Hyperopische Augen dagegen sind hinten abgeflacht, wobei auch der Drehpunkt ein wenig mehr nach vorn rückt; das Minimum seiner Entfernung von der Basis der Hornhaut betrug 9,71 Mm. oder 12,32 hinter dem Scheitel der Hornhaut.

Ob der Drehpunkt für jede Richtung und Gröſse der Drehung ganz constant sei, hat Donders noch nicht untersucht.

Es stellte sich bei diesen Versuchen ferner heraus, daſs die normalen Augen mit einer einzigen Ausnahme die für diese Versuche nöthigen Drehungen des Auges, welche 28° nach beiden Seiten hin betrugen, ohne Schwierigkeit ausführen konnten, die kurzsichtigen Augen aber hatten oft eine beschränktere Beweglichkeit; unter den Hyperopen fand sich ebenfalls nur ein Ausnahmsfall mit beschränkterer Beweglichkeit. Doch können die meisten Augen auch wohl noch stärkere Drehungen ausführen. Ich erreiche bei stärkerer Anstrengung in horizontaler Richtung etwa 50° nach beiden

[1] Derde Jaarlijksch Verslag betr. het Nederlandsch Gasthuis voor Ooglijders. Utrecht 1862, p. 209–229.

Seiten, und etwa 45° nach oben und nach unten, so dafs ich von oben nach unten das Auge etwa um einen rechten Winkel, von rechts nach links um etwas mehr drehen kann. Die äufsersten Drehungen sind aber schon sehr gezwängt und nicht lange zu ertragen.

Wir gehen jetzt dazu über zu untersuchen, welche Drehungen vom Augapfel ausgeführt werden. In der Art der Befestigung des Augapfels liegt kein Hindernifs für eine jede Art von Drehung von mässiger Amplitude; die Muskeln sind ebenfalls vorhanden, welche Drehung um jede beliebige Axe würden ausführen können; die genauere Untersuchung der Bewegungen der menschlichen Augen hat aber ergeben, dafs unter den gewöhnlichen Umständen des normalen Sehens durchaus nicht alle Bewegungen wirklich ausgeführt werden, zu deren Ausführung die mechanischen Mittel vorhanden sind. Wir werden also zunächst die Frage zu untersuchen haben, welche Bewegungen werden vom menschlichen Auge wirklich ausgeführt?

Bei den Bestimmungen der Lage der Augen und der gesehenen Objecte handelt es sich in der Regel darum, ihre Lage im Verhältnifs zu der des Kopfes zu bestimmen, dessen Lage und Richtung im Raume selbst als bekannt angenommen werden mufs. Zu diesen Bestimmungen verwenden wir zunächst am passendsten folgende von Henle für die anatomischen Beschreibungen eingeführte Nomenclatur.

Der menschliche Kopf besteht aus zwei symmetrischen Hälften, seine
460 Mittelebene der Symmetrie nennen wir die Medianebene. Diejenigen Linien, welche entsprechende Puncte der rechten und linken Kopfhälfte verbinden, nennen wir transversale oder quere Linien. Sie sind senkrecht zur Medianebene. Ebenen, welche der Medianebene parallel laufen, heifsen Sagittalschnitte.

Als natürliche Stellung des Kopfes kann diejenige betrachtet werden, welche bei aufrechter Haltung des Körpers angenommen wird, wenn die Blicke nach dem Horizont gerichtet sind. Bei dieser Haltung liegt für mich die *Glabella* des Stirnbeins (der Theil dicht über der Nasenwurzel) senkrecht über den Oberzähnen. Diese Stellung ist dadurch allerdings nicht ganz genau, sondern nur annähernd bezeichnet; wie für die Augenbewegungen eine genauere Bestimmung gewonnen werden kann, wird sich später zeigen. Die in dieser Haltung durch den Kopf gelegten horizontalen Ebenen heifsen Horizontalschnitte oder Querschnitte, die senkrecht zur Medianebene gelegten verticalen Schnitte dagegen Frontalschnitte. Die Frontalschnitte und Querschnitte schneiden sich in transversalen Linien. Die Linien, in denen sich die Medianebene und die ihr parallelen Sagittalschnitte mit den Querschnitten (Horizontalschnitten) schneiden, heifsen sagittale (pfeilrechte) Linien, und diejenigen, in denen sich die Medianebene und die Sagittalschnitte mit den Frontalschnitten schneiden, verticale (senkrechte) Linien. Die transversalen Linien also verlaufen von rechts nach links, die sagittalen von vorn nach hinten, die verticalen von oben ·h unten.

So ist ein rechtwinkeliges Coordinatensystem gegeben, welches im Kopfe selbst als fest, und mit ihm beweglich angesehen wird. Die beiden Seiten der Medianebene sind als *rechts* und *links* zu bezeichnen, die einer Sagittalebene als *innen* und *aufsen*, oder wo dies eine Verwechselung in Beziehung auf das Innere von hohlen Organen zulassen würde, nach Henle's Vorschlag als *laterale* (nach der äufseren Seite sehend) und als *mediale* (gegen die Medianebene sehend) zu bezeichnen. Die beiden Seiten der transversalen Schnitte werden als oben und unten bezeichnet werden können, oder wo dies bei schiefer Haltung des Kopfes zweideutig sein könnte, als *stirnwärts* und *kinnwärts* gekehrt. Die beiden Seiten der Frontalschnitte sind unzweideutig als *vorn* und hinten zu bezeichnen.

Für die Bewegungen des Auges bildet der Drehpunkt den festen Punkt, und beim normalen Sehen sind beide Augen immer so gestellt, dafs sie ein und denselben äufseren Punkt fixiren, welcher Punkt, da das Sehen mit bewegtem Auge *Blicken* genannt wird, der *Blickpunkt* heifsen mag (sonst auch *Fixationspunkt* genannt). Eine gerade Linie, welche vom *Blickpunkte* nach dem *Drehpunkte* des Auges gezogen ist, nennen wir *Blicklinie*. Sie ist nicht ganz identisch mit der *Gesichtslinie*, die dem ungebrochenen Lichtstrahle entspricht, sondern mufs etwas auf deren innerer (medialer) Seite liegen, da der Drehpunkt vermuthlich in der Augenaxe, und somit medianwärts von der Gesichtslinie liegt. Doch wird die Abweichung beider Linien von einander in den meisten Fällen zu vernachlässigen sein. Ein Lichtstrahl, der der Blicklinie folgt, mufs wie alle vom Blickpunkte ausgehenden Strahlen schliefslich durch das Centrum des gelben Flecks gehen, 46
und wird deshalb nicht in der Verlängerung der Blicklinie bleiben können.

Eine Ebene, welche durch die beiden Blicklinien gelegt ist, werde *Blickebene* genannt (der Name der *Visirebene*, der hierfür auch gebraucht ist, wird wohl besser für die Ebene, in der die *Visirlinien* liegen, aufgespart; übrigens wird der Unterschied zwischen Blickebene und Visirebene in der Regel zu vernachlässigen sein). Die Verbindungslinie der Drehpunkte, welche mit den beiden Blicklinien ein Dreieck einschliefst, ist als Basis dieses Dreiecks betrachtet, und dem entsprechend *Grundlinie* (*Basallinie*) genannt worden. Die Medianebene des Kopfes schneidet die Grundlinie in ihrem Mittelpunkte, und die Blickebene in der *Medianlinie der Blickebene*.

Der Blickpunkt kann gehoben und gesenkt, das heifst stirnwärts oder kinnwärts bewegt werden. Das Feld, welches er durchlaufen kann, nennen wir das *Blickfeld*; seine Ausdehnung ist geringer als die des Gesichtsfeldes. Wir denken uns das Blickfeld als Theil einer Kugeloberfläche, deren Mittelpunkt im Drehpunkt liegt. Nehmen wir eine bestimmte Lage der Blickebene, die anfangs willkürlich gewählt, später näher bestimmt werden mag, als ihre Anfangslage an, so ist jede neue Lage der Blickebene zu bestimmen durch den Winkel, den sie mit der Anfangslage bildet, und den wir den *Erhebungswinkel des Blicks* nennen wollen. Derselbe ist

positiv zu rechnen, wenn die Blickebene stirnwärts, negativ, wenn sie kinnwärts verschoben ist.

In der Blickebene kann sich nun die Blicklinie jedes Auges lateralwärts oder medianwärts wenden; wir bezeichnen dies als Seitenwendungen des Blicks, und messen ihre Gröfse durch den Seitenwendungswinkel, das heifst durch den Winkel, den die Richtung der Blicklinie mit der Medianlinie der Blickebene bildet. Wendungen nach rechts mögen einen positiven Werth des Seitenwendungswinkels haben, Wendungen nach links einen negativen Werth.

Durch den Erhebungswinkel und den Seitenwendungswinkel ist die Richtung der Blicklinie gegeben. Fick, Meissner, Wundt haben dazu zwei andere Winkel benutzt. In den von mir gebrauchten Bestimmungen wird die Blicklinie erst mit der Blickebene gehoben, und dann in der Blickebene seitwärts gewendet. Fick setzt die Blickebene zuerst als horizontal voraus, und die Blicklinie in ihr horizontal verschoben um einen Winkel, den er die *Longitudo* nennt, indem er die Verticalaxe des Auges mit der Polaraxe eines Erdglobus vergleicht. Dann läfst er die Blicklinie erst heben um einen Winkel, den er die *Latitudo* nennt. Bei dieser Messung sind aber sowohl die *Longitudo* als *Latitudo* in ihrem Werthe abhängig von der gewählten Anfangslage der Blickebene, für welche man von vorn herein keine genügend feste Bestimmungsweise hat, und jede Aenderung dieser Anfangslage macht trigonometrische Berechnungen für die beiden andern Winkel nöthig. Dagegen ist der von mir gewählte Seitenwendungswinkel ganz unabhängig von der Wahl der Anfangslage der Blickebene, und der Erhebungswinkel ist einfach durch Addition oder Subtraction zu corrigiren, wenn man zu einer anderen Wahl seines Nullpunkts übergeht.

462 Durch die genannten Winkel ist nun die Lage der Blicklinie vollständig gegeben, aber noch nicht die Stellung des Auges. Der Augapfel würde vielmehr noch beliebige Drehungen um die Blicklinie als Axe machen können, ohne dafs diese ihre Lage dabei ändert. Solche Drehungen des Augapfels um die Blicklinie als Axe pflegt man Raddrehungen zu nennen, weil die Iris sich dabei dreht, wie ein Rad. Um die Gröfse der Raddrehung zu messen, mufs der Winkel bestimmt werden, den eine im Auge feste Ebene mit der Blickebene macht. Als solche habe ich die Ebene gewählt, welche mit der Blickebene zusammenfällt, wenn der Blick beider Augen der Medianebene parallel in aufrechter Kopfhaltung nach dem unendlich entfernten Horizonte gerichtet ist, und habe diese im Auge feste Ebene den Netzhauthorizont genannt. Ich fand diese Bestimmung unzweideutig bei meinen eignen und bei denjenigen normalsichtigen Augen, die ich untersuchte. Sie ist es aber nicht, wie sich später herausgestellt hat, bei kurzsichtigen Augen, und mufs also bei solchen entweder eine genau bestimmte Anfangslage der Blickebene festgesetzt werden, oder würde es für die später zu machenden Anwendungen vielleicht vortheilhaft sein, für solche Augen diejenige Lage der Blickebene zu benutzen, bei welcher die in der Blickebene liegenden

geraden Linien sich auf correspondirenden Stellen beider Netzhäute abbilden, was bei den normalsichtigen in der oben genannten der Medianebene parallelen Richtung des Blicks Regel zu sein scheint. Den Winkel zwischen dem Netzhauthorizonte und der Blickebene nennen wir den Raddrehungswinkel des Auges, und nehmen ihn positiv, wenn das obere Ende des verticalen Meridians der Netzhaut nach rechts abgewichen ist. Dabei dreht sich das Auge wie der Zeiger einer von ihm betrachteten Uhr.

Wir wollen zunächst die Gesetze für diejenigen Bewegungen beider Augen untersuchen, bei denen beide Blicklinien fortdauernd parallel gerichtet bleiben, wie sie ausgeführt werden, wenn man eine Reihe weit entfernter Gegenstände überblickt. Bei Convergenz der Augen treten kleine Abweichungen vom dem Gesetze ein, welches für parallele Gesichtslinien gilt.

Das erste von Donders aufgestellte und durch alle späteren Untersuchungen bestätigte Gesetz ist, dafs, wenn die Lage der Blicklinie in Beziehung zum Kopfe gegeben ist, dazu auch ein bestimmter und unveränderlicher Werth der Raddrehung gehört, welcher unabhängig von der Willkür des Beobachters und unabhängig von dem Wege ist, auf welchem die Blicklinie in die betreffende Stellung gebracht ist. Ausgedrückt in der von uns gewählten Bezeichnungsweise, heifst dieses Gesetz:

Der Raddrehungswinkel jedes Auges ist bei parallelen Blicklinien eine Function nur von dem Erhebungswinkel und dem Seitenwendungswinkel.

Donders hat namentlich entgegen der von Hueck früher aufgestellten Meinung gezeigt, dafs der Werth der Raddrehung nicht wechselt bei geänderter Neigung des Kopfes, wenn dabei die Stellung der Blicklinie zum Kopfe unverändert bleibt. Er hatte die Stellung jedes einzelnen Auges auch für unabhängig von der Stellung des andern Auges gehalten. Dagegen hat Volkmann allerdings einen, wenn auch geringen Einflufs der Convergenz 463
wenigstens für kurzsichtige Augen nachgewiesen, den wir nachher besprechen werden. Aber auch abgesehen davon hat Ermüdung der Augenmuskeln durch länger eingehaltene Convergenzstellungen einigen Einflufs, und aufserdem kann unter besonderen ebenfalls nachher zu besprechenden Umständen das Streben, die Objecte einfach zu sehen, unter Bedingungen, wo man dies nur mittelst abnormer Augendrehungen erreichen kann, wenn auch nicht sogleich, aber nach einiger Zeit einen Einflufs auf die Stellung des Auges ausüben. Kleine Veränderungen treten auch von einem zum anderen Tage ein. Aber alle diese Abweichungen sind gering und beeinträchtigen der Hauptsache nach nicht die Geltung des Donders'schen Gesetzes.

Die Hauptzüge des Gesetzes der Augendrehungen, welche allen Augen gemeinsam sind, lassen sich unter folgende Gesichtspunkte zusammenfassen.

Es ist unter den verschiedenen Augenstellungen eine herauszufinden von der Art, dafs wenn von ihr aus der Blick gerade nach oben oder gerade nach unten, gerade nach rechts oder nach links gewendet wird, keine Raddrehung des Auges erfolgt. Diese Stellung nennen wir die Primärstellung

der Blicklinie. Wenn man also von der Primärstellung ausgeht, so bringt reine Erhebung oder Senkung des Auges ohne Seitenabweichung, oder reine Seitenabweichung ohne Erhebung und ohne Senkung keine Raddrehung hervor.

Die Lage der Blickebene, welche durch die Primärstellungen beider Blicklinien geht, nennen wir die Primärstellung der Blickebene.

In erhobener Stellung der Blickebene geben Seitenwendungen nach rechts Drehungen des Auges nach links und Seitenwendungen nach links Drehungen nach rechts.

In gesenkter Stellung der Blickebene dagegen geben Seitenwendungen nach rechts auch Drehungen nach rechts und Seitenwendungen nach links Drehungen nach links.

Oder: Wenn der Erhebungs- und Seitenwendungswinkel dasselbe Vorzeichen haben, ist die Drehung negativ, wenn jene ungleiches Vorzeichen haben, ist die Drehung positiv.

Bei gleicher Erhebung oder Senkung ist die Rotation um so stärker, je gröfser die seitliche Abweichung, und bei gleicher Seitenwendung um so stärker, je gröfser die Erhebung oder Senkung ist.

Um sich von den angegebenen Thatsachen zu überzeugen, benutzt man nach dem von Ruete zuerst gemachten Vorschlage am besten Nachbilder. Zu dem Ende stelle man sich der Wand eines Zimmers gegenüber auf, welche mit einer Tapete überzogen ist, die horizontale und verticale Linien erkennen läfst, ohne dafs aber das Muster so scharf gezeichnet ist, dafs man Schwierigkeit fände, Nachbilder auf ihm zu erkennen; am besten ist eine matte blafsgraue Grundfarbe. Dem Auge des Beobachters gerade gegenüber und in gleicher Höhe mit ihm spanne man ein horizontales schwarzes oder farbiges Band auf, zwei bis drei Fufs lang, welches stark
464 gegen die Farbe der Tapete absticht. Um die Lage des Kopfes zu sichern, ist es vortheilhaft, den Hinterkopf fest anzulehnen, wobei man darauf zu achten hat, dafs derselbe weder nach rechts noch nach links geneigt oder gedreht sei. Es mufs vielmehr die Mittelebene des Kopfes vertical gehalten werden und senkrecht zur betrachteten Wand stehen. Ob die Mittelebene des Kopfes vertical sei, erkennt man leicht, wenn man die Augen so convergiren läfst, dafs Doppelbilder des schwarzen Bandes entstehen; diese müssen in eine gerade Linie zusammenfallen. Man fixire nun eine kurze Zeit lang ganz fest die Mitte des Bandes, und wende dann, ohne den Kopf zu verrücken, plötzlich die Augen nach einer anderen Stelle der Wand hin. Man wird dort ein Nachbild des Bandes sehen, und durch Vergleichung dieses Bildes mit den horizontalen Linien der Tapete erkennen können, ob das Nachbild horizontal erscheint, oder nicht. Das Nachbild selbst ist entwickelt auf denjenigen Punkten der Netzhaut, die dem Netzhauthorizonte angehören, und bezeichnet bei den Bewegungen des Auges diejenigen Theile des Gesichtsfeldes, auf welche der Netzhauthorizont sich projicirt. Die Schnittlinie der

Blickebene mit der gegenüberliegenden Wand dagegen mufs immer horizontal sein, wenn der Kopf des Beobachters die verlangte Stellung hat, so dafs die Verbindungslinie der Drehpunkte beider Augen selbst horizontal und der Ebene der Wand parallel ist. Die horizontalen Linien der Tapete geben also die Projection der Blickebene auf die Tapete, und wie das Nachbild gegen diese Horizontallinien gedreht ist, so ist der Netzhauthorizont gegen die Blickebene gedreht.

Wir finden, dafs wenn man bei richtig gewählter Stellung des Kopfes gerade nach oben und unten, oder gerade nach rechts und links sieht, das Nachbild des horizontalen Bandes mit den horizontalen Linien der Tapete zusammenfällt. Wenn man aber nach rechts und oben oder nach links und unten blickt, so ist es nach links gedreht, d. h. sein linkes Ende steht tiefer als das rechte, immer im Vergleich zu den Horizontallinien der Tapete, und wenn man nach links oben oder rechts unten blickt, ist das Nachbild umgekehrt etwas nach rechts gedreht, sein rechtes Ende steht tiefer als das linke.

Der Sinn dieser Drehungen ist genau derselbe für das rechte wie für das linke Auge, wovon man sich am leichtesten und vollkommensten überzeugt, wenn man beide Augen gleichzeitig öffnet, während man das Nachbild hervorbringt, dann die Richtung des Blicks ändert, und während man das Nachbild betrachtet, schnell hinter einander bald das rechte, bald das linke Auge mit der Hand verdeckt. Welches man auch verdecken möge, so behält das Nachbild bei den von mir untersuchten normalsichtigen Augen vollkommen dieselbe Stellung.

Wenn man das Band vertical ausspannt, und in derselben Weise das Nachbild des verticalen Bandes mit den Verticallinien der Tapete vergleicht, so erhält man scheinbar entgegengesetzte Drehungen. Wenn man nämlich nach rechts und oben sieht, erscheint das Nachbild gegen die Verticallinien der Tapete nicht nach links, sondern umgekehrt nach rechts gedreht. Daraus darf man aber nicht auf eine Drehung des Auges nach rechts schliefsen, weil in diesem Falle die verticalen Linien der Tapete nicht mit der Projection einer auf der Blickebene errichteten Normalen zusammenfallen, diese letztere 465
vielmehr in demselben Sinne, wie das Nachbild, nur noch stärker gedreht erscheinen würde.

Der ganze Gang der Erscheinung nach dem für normalsichtige Augen gültigen Gesetze ist in *Fig. 200* dargestellt worden. Es wird vorausgesetzt, dafs das Auge sich in der Normale über $a$ befinde in einer Entfernung gleich $AB$. Dann fallen die Nachbilder einer durch $a$ gehenden horizontalien Linie, wenn sie auf einen andern Theil des Feldes projicirt werden, mit der Richtung der Curven $b_1 b_1$, $b_2 b_2$ etc. zusammen; die einer senkrechten durch $a$ gehenden Linie dagegen mit der Richtung der Curven $cc$, $c_1 c_1$, $c_2 c_2$ etc. Die Curven sind für normale Augenbewegungen Hyperbeln.

Da nun, wenn man von der Primärstellung ausgeht und den Blick schief nach oben oder unten wendet, die Nachbilder verticaler Linien, verglichen

mit den Verticallinien der Wand, scheinbar die entgegengesetzte Drehung erleiden als die horizontalen Nachbilder im Vergleich mit horizontalen Linien der Wand, so darf man sogleich vermuthen, dafs zwischen horizontalen und verticalen Linien mitten inne für jede Augenbewegung eine Richtung des Nachbilds existiren wird, wobei es der Richtung seines Objects parallel bleibt; und in der That ist das auch der Fall. Man findet nämlich, dafs die Nachbilder schräger Linien, die man in der Primärlage fixirt hat, ihrem Object parallel bleiben, wenn man den Blick entweder in der Verlängerung der Objectlinie, oder von der Primärlage ausgehend senkrecht zu dieser wandern läfst.

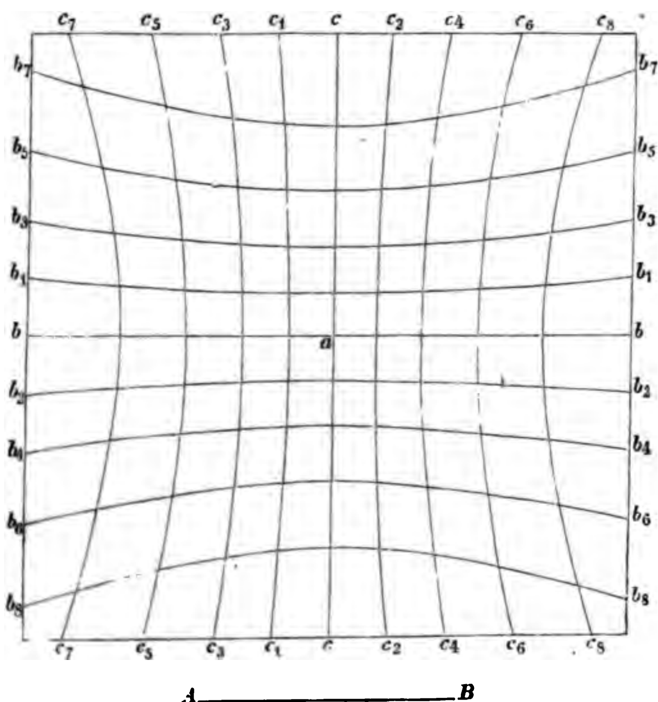
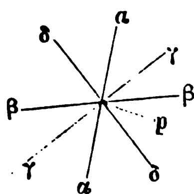



Fig. 200.



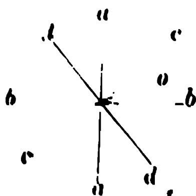



Fig. 201.

Es sei also in *Fig. 201* $o$ der Punkt, wo die Blicklinie in der Primärstellung die Ebene der Zeichnung senkrecht schneidet; $aa$ sei eine verticale, $bb$ eine horizontale durch $o$ gezogene Linie. Wird der Blick nach $p$ gewendet, so erhalten ihre Nachbilder die Lagen $\alpha\alpha$ und $\beta\beta$, welche beide den Linien $aa$, beziehlich $bb$ nicht parallel sind. Zieht man aber durch $o$ die Linien $cc$ und $dd$, von denen die erstere die Richtung der Verbindungslinie $op$ hat, die zweite senkrecht darauf ist, so geben diese in $p$ die Nachbilder $\gamma\gamma$ und $\delta\delta$, welche ihren Objectlinien parallel sind.

Bei den von mir untersuchten Augen schien dieses Gesetz mit desto ıfserer Schärfe erfüllt zu sein, je weniger kurzsichtig sie waren.

In dem in *Fig. 201* angedeuteten Versuche ergiebt also die Beobachtung, 's sich die Linien *δδ* und *γγ*, wenn der Blick nach *p* gewendet ist, auf ıselben Netzhauttheilen abbilden, auf denen sich *dd* und *cc* abbilden, nn der Blick nach *o* gewendet ist. Fragt man nun, um was für eine tationsaxe der Augapfel gedreht werden müsse, um aus der ersten Lage die zweite überzugehen, so ergiebt sich leicht, dafs die Axe parallel den ıien *dd* und *δδ* sein müsse, und daher senkrecht zu der durch *op* und ı Drehpunkt gelegten Ebene. Denkt man sich diese letztere Ebene in ter Lage zum Augapfel, so wird ihre Lage nicht geändert, wenn sie mit n Augapfel um eine zu ihr normal gerichtete Axe gedreht wird. Ihre ınittlinie mit der Ebene der Zeichnung *op* bleibt deshalb bei solcher wegung ebenfalls ungeändert, und diese Schnittlinie, zu deren Theilen :h *cc* und *γγ* gehören, bildet sich dabei immer auf den gleichen Netzhaut-:ilen ab, wie es die Ergebnisse des Versuchs erfordern. Denkt man aber rch die Axe und die ihr parallele Linie *dd* eine Ebene gelegt, und diese ı die Axe gedreht, so wird auch nach der Drehung die Schnittlinie *δδ* :ser Ebene und der Ebene der Zeichnung parallel der Axe und also auch rallel der Linie *dd* bleiben müssen. Denn wenn eine Ebene durch eine rade Linie (Rotationsaxe) geht, welche einer andern Ebene (der Ebene der ichnung) parallel ist, so ist auch die Schnittlinie beider Ebenen der nannten Linie (Rotationsaxe) parallel.

Wir können also das Bewegungsgesetz parallel gerichteter normal-htiger Augen folgendermafsen aussprechen: Wenn die Blicklinie aus rer Primärstellung übergeführt wird in irgend eine andere ellung, so ist die Raddrehung des Augapfels in dieser zweiten ellung eine solche, als wäre er um eine feste Axe gedreht ırden, die zur ersten und zweiten Richtung der Blicklinie nkrecht steht.

Dieses Gesetz der Augenbewegungen ist in dieser Weise zuerst von STING aufgestellt worden und wird deshalb nach ihm benannt.

Es ist dabei nicht nöthig, dafs die Bewegung des Blicks aus der ersten die zweite Richtung wirklich längs einer geraden Linie vor sich geht, er dafs der Augapfel wirklich um eine constant bleibende Rotationsaxe dreht wird, sondern die Ueberführung aus der ersten in die zweite Stellung 467 nn auf beliebigem Wege geschehen; nach dem Gesetze von DONDERS wird : endliche Stellung doch immer die gleiche sein, und die Richtigkeit von :sem DONDERS'schen Gesetze läfst sich wiederum in der Art erweisen, dafs ın die Ueberführung des Blicks absichtlich auf verschiedenen Wegen vor-nmt und sich durch die Congruenz des Nachbildes *γγ* mit der Linie *op* n der Identität der schliefslich eingetretenen Raddrehung des Auges erzeugt.

Doch ist dabei allerdings zu bemerken, dafs im ersten Augenblicke, wo e Blicklinie nach ausgiebigen Bewegungen an dem neu gewählten Fixations-

punkte angekommen ist, zuweilen noch eine etwas abweichende Stellung des Nachbildes zu bemerken ist, die aber schon nach einer oder zwei Secunden in die normale übergeht.

Wenn man nach dem durch solche Versuche bestätigten Gesetze von LISTING die Gröfse des Rotationswinkels $\gamma$ berechnet, ausgedrückt durch den Erhebungswinkel $\alpha$, und die Seitenwendung $\beta$, so findet man folgende Gleichung:

$$-\text{tang.}\ \gamma = \frac{\sin\alpha \sin\beta}{\cos\alpha + \cos\beta}$$

oder für logarithmische Rechnung geeigneter

$$-\text{tang.}\left(\frac{\gamma}{2}\right) = \text{tang.}\left(\frac{\alpha}{2}\right)\ \text{tang.}\left(\frac{\beta}{2}\right).$$

In der folgenden Tabelle sind die Werthe des Drehungswinkels von 5 zu 5 Graden der beiden andern Winkel berechnet.

| Seitenwendung | Erhebungswinkel | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5° | 10° | 15° | 20° | 25° | 30° | 35° | 40° |
| 5° | 0° 13′ | 0° 26′ | 0° 40′ | 0° 53′ | 1° 7′ | 1° 20′ | 1° 35′ | 1° 49′ |
| 10° | 0° 26′ | 0° 53′ | 1° 19′ | 1° 46′ | 2° 13′ | 2° 41′ | 3° 10′ | 3° 39′ |
| 15° | 0° 40′ | 1° 19′ | 1° 59′ | 2° 40′ | 3° 21′ | 4° 2′ | 4° 45′ | 5° 29′ |
| 20° | 0° 53′ | 1° 46′ | 2° 40′ | 3° 34′ | 4° 29′ | 5° 25′ | 6° 22′ | 7° 21′ |
| 25° | 1° 7′ | 2° 13′ | 3° 21′ | 4° 29′ | 5° 38′ | 6° 48′ | 8° 0′ | 9° 14′ |
| 30° | 1° 21′ | 2° 41′ | 4° 2′ | 5° 25′ | 6° 48′ | 8° 13′ | 9° 39′ | 11° 8′ |
| 35° | 1° 35′ | 3° 10′ | 4° 45′ | 6° 22′ | 8° 0′ | 9° 39′ | 11° 21′ | 13° 6′ |
| 40° | 1° 49′ | 3° 39′ | 5° 29′ | 7° 21′ | 9° 14′ | 11° 8′ | 13° 6′ | 15° 5′. |

Für diejenigen Bewegungen des Blicks also, welche von der Primärlage anfangen, und in irgend eine andere Lage überführen, ist nach dem LISTINGschen Gesetze die Drehungsaxe immer gelegen in einer Ebene, die zur Blicklinie senkrecht ist. Es gehe diese Ebene der Drehungsaxen durch *AA*, *Fig. 202* normal zu *OB*, der Blicklinie. Eine zweite Ebene, 𝔄, welche in der Primärstellung der Auges mit der Ebene *AA* zusammenfällt, denke man sich durch den Augapfel gelegt und mit diesem fest verbunden. Wenn nun die Blicklinie *OB* in eine Secundärstellung *OF* gebracht ist, hat 𝔄 eine andere Lage als *AA*, nämlich *CC*. Um von dieser ersten Secundärstellung in irgend welche andere Stellungen überzugehen, kann man das Auge nun wieder um feste Axen drehen, die auch alle in einer und
468 derselben Ebene liegen, und zwar in derjenigen

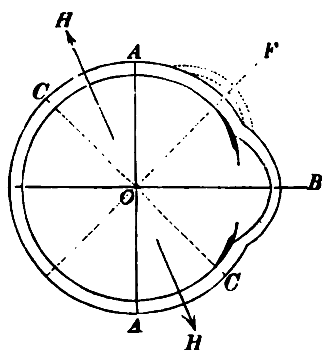


Fig. 202.

Ebene, welche den Winkel der Ebenen $AA$ und $CC$ halbirt, die also die Ebene der Zeichnung rechtwinklig in der Linie $HH$ schneidet. Es ist dies die Ebene der Drehungsaxen für die betreffende Secundärstellung der Blicklinie $OF$.

Endlich um von irgend einer Stellung $a$ des Augapfels in eine andere Stellung $b$ überzugehen, construire man die Ebenen der Drehungsaxen für die beiden Stellungen $a$ und $b$. Die Schnittlinie beider Ebenen ist die Axe, um welche man das Auge zu drehen hat, um es von $a$ nach $b$ überzuführen. Denn es ist evident, dafs diese Axe beiden Ebenen angehören mufs, da man dieselbe Bewegung auch von $b$ nach $a$ machen kann, und die betreffende Drehungsaxe sowohl den Bedingungen der von $a$ als der von $b$ ausgehenden Bewegungen genügen mufs, d. h. in den beiden Blickpunkten zugehörigen Ebenen der Drehungsaxen liegen mufs.

Bei den bisher geprüften normalsichtigen oder schwach kurzsichtigen Augen bewährte sich die Richtigkeit des Listing'schen Gesetzes mit grofser Genauigkeit für alle parallelen Stellungen beider Blicklinien. Die Methode der Nachbilder erlaubt bei guter Ausführung die Stellung des Augapfels bis auf etwa einen halben Winkelgrad genau zu bestimmen. Eine andere Methode, welche auf der Vergleichung der Bilder beider Augen beruht, und die zuerst von Meissner angewendet und später von Volkmann weiter ausgebildet ist, erlaubt noch genauere Bestimmungen bis auf etwa $^1/_{10}$ Grad herab zwar nicht für die Stellung jedes einzelnen Augapfels, aber doch für die Differenzen der Stellung beider Augen. Versuche nach dieser Methode, deren Ausführung unten näher beschrieben wird, zeigen für meine eigenen Augen in den äufsersten peripherischen Stellungen nach oben und unten Abweichungen vom Listing'schen Gesetz, die für jedes einzelne Auge nur neun Winkelminuten betragen. Volkmann fand für seine etwas kurzsichtigeren Augen Maximalabweichungen beim Blick schräg nach unten rechts und links bis zu 54 Minuten für beide Augen zusammen, was auf jedes einzelne etwa 27 Minuten ausmacht. Stärker kurzsichtige Augen, wie die von Hrn. Dr. Berthold zeigten aber stärkere Abweichungen namentlich in den peripherischen Stellungen nach oben und unten, die wahrscheinlich mit mechanischen Hindernissen in der Bewegung des nach hinten verlängerten kurzsichtigen Augapfels zusammenhängen werden.

Die bisherigen Angaben beziehen sich auf parallele Stellungen beider Blicklinien. Merkliche Abweichungen davon, bei verschiedenen Individuen von verschiedener Gröfse, treten nun nach der Entdeckung von Volkmann ein, wenn die Blicklinien convergent gestellt werden zur Betrachtung eines nahen Gegenstandes. Bei Volkmann's eigenen Augen bringt Convergenz auf die Punkte einer in 30 Centimeter vor den Augen liegenden Ebene eine gleichmäfsige Vermehrung der Divergenz der scheinbar verticalen Meridiane beider Augen von zwei Grad hervor, wenn man sie vergleicht mit der Divergenz, 469
welche die genannten Meridiane nach dem Listing'schen Gesetze hätten haben sollen, unter Voraussetzung derselben Divergenz und derselben Primärlage, welche bei parallelen Augenstellungen gefunden waren. So weit also

der Einfluſs der Convergenz sichtbar wird in der veränderten Differenz der Stellung beider Augen, könnte man für VOLKMANN's Augen sich vorstellen, daſs dieselben in Convergenz eine tiefere Primärstellung haben, oder daſs die Drehung des Auges in der Primärstellung, welche wir als Nullpunkt der Raddrehungen betrachten, verändert ist. Diese Veränderung nimmt zu mit steigender Convergenz.

Für meine eigenen Augen ist diese Drehung durch Convergenz in den mittleren Theilen des Gesichtsfeldes viel geringer als bei VOLKMANN, nämlich nur $^1/_9$ der Gröſse, die sie bei jenem hat, so daſs sie mir bei den Nachbildversuchen verborgen blieb; sie geschieht übrigens in demselben Sinne. Dagegen fand ich bei Nachbildversuchen, daſs in den peripherischen seitlichen Richtungen des Blicks durch Convergenz Abweichungen des Nachbildes von $2^\circ$ bis $2^1/_2{}^\circ$ eintreten auch in dem Sinne, als wäre die Primärstellung meiner Augen für die Convergenzstellungen ein wenig tiefer zu nehmen, als für die Parallelstellungen. In *Fig. 203* bezeichnen die kurzen dicken Striche die Lage der Nachbilder für convergente Augenstellungen, aber mit übertriebener Gröſse der Abweichung. Die Objecte jener Nachbilder hatten im Centrum gelegen und waren den ausgezogenen Radien des Gesichtsfeldes parallel gewesen, so daſs ihre Nachbilder bei parallelen Gesichtslinien auch in den genannten Radien liegen geblieben wären. Bei *cd* sind die Abweichungen am deutlichsten, bei *fg* klein und unsicher.

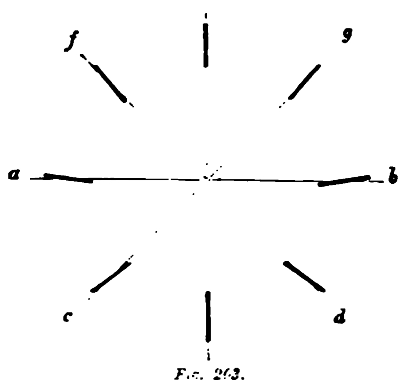


Fig. 203.

Herr DASTICH, dem die übrigen entsprechenden Beobachtungen sehr gut gelangen, konnte gar keinen Einfluſs der Convergenz bei seinen Augen finden. Ueber die Gröſse dieses Einflusses bei verschiedenen Individuen sind also noch weitere Untersuchungen nöthig.

Ueberhaupt muſs ich bemerken, daſs für meine Augen sich eine gewisse Veränderlichkeit der Drehungen herausstellt. Die Primärstellung liegt an einem Tage ein wenig höher, am andern tiefer, und verändert sich sogar, während ich eine Reihe von Versuchen ausführe. Namentlich für die peripherischen Richtungen des Blicks, die mit einiger Anstrengung verbunden sind, finde ich zuweilen merklich verschiedene Stellungen in unmittelbar auf einander folgenden Versuchen und trotz möglichster Gleichartigkeit ihrer Ausführung. Man muſs also von dem Auge nicht ganz dieselbe Präcision der Bewegung erwarten, wie von einem physikalischen Apparate, wenn auch normale Augen unter gewöhnlichen Bedingungen ziemlich genau dem DONDERS'schen und LISTING'schen Gesetze folgen.

470 Endlich ist noch der Antheil zu bestimmen, den die einzelnen Augenmuskeln an den einzelnen normalen Bewegungen des Auges zu nehmen

aben. Wie oben (S. 43) schon bemerkt ist, drehen der innere und äufsere erade Augenmuskel, für sich wirkend, das Auge um eine verticale Axe; die xe für die Drehung durch den unteren und oberen geraden Muskel liegt ach den Bestimmungen von Ruete horizontal, mit dem inneren Ende nach orn sehend, unter einem Winkel von etwa 70° mit der Blicklinie; die Axe ir den oberen und unteren schiefen Muskel liegt ebenfalls horizontal, das ufsere Ende nach vorn sehend, unter einem Winkel von etwa 35° mit der licklinie. Drehungen um die verticale Axe des inneren und äufseren geraden luskels entsprechen dem Gesetze von Listing, diese Muskeln können also ich isolirt angewendet werden. Dagegen würden Drehungen um die beiden ndern Axen dem Listing'schen Gesetze nicht entsprechen. Um für eine ewegung nach oben eine horizontal von rechts nach links gerichtete rehungsaxe zu erhalten, mufs man eine Drehung durch den *Rectus superior* it einer durch den *Obliquus inferior* verbinden; für eine Drehung ach unten den *Rectus inferior* mit dem *Obliquus superior*. Es ist n bekanntes mechanisches Gesetz, dafs man für kleine Drehungen ie Drehungsaxen nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte zuammensetzen kann, wobei die Gröfse der Drehung die Intensität der Kraft präsentirt, und alle Drehungen, die vom Mittelpunkt aus gesehen nach chts herum (wie der Zeiger einer Uhr) vor sich gehen, also positiv, die itgegengesetzten als negativ gerechnet werden. In *Fig. 204* ist ein horiontaler Querschnitt des Auges gezeichnet mit en Drehungsaxen, wobei die positiv zu rechenden Enden der Axen mit den Anfangsichstaben der betreffenden Muskeln, *Obliquus iperior* und *inferior*, *Rectus superior* und *ferior* bezeichnet sind. Aufserdem ist die ich dem Listing'schen Gesetz geforderte orizontalaxe *OU* für die Bewegungen nach ben und unten angegeben; der Buchstabe *O* ezeichnet das positive Ende der Axe für die rehung nach oben, *U* für die nach unten. ie Zeichnung entspricht dem linken Auge m oben gesehen, oder dem rechten von nten.

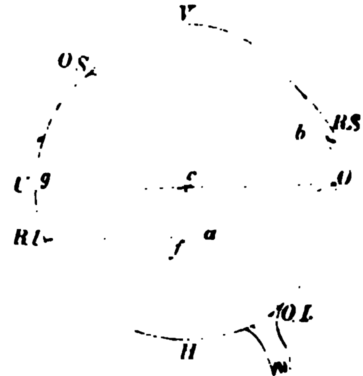


Fig. 204.

Wenn nun das Linienstück *cb* der Gröfse der Drehung durch den *Rectus iperior* proportional ist, *ca* der durch den *Obliquus inferior*, so bezeichnet *O*, als Diagonale des Parallelogramms *cbOa* die Drehung der gemeinsamen rehungsaxe und ist der Gröfse dieser Drehung proportional. Es erhellt is dieser Figur, dafs bei derjenigen Lage, welche die Axen bei geradeaus erichtetem Auge haben, die resultirende Drehungsaxe *UO* der Axe der etreffenden beiden geraden Augenmuskeln näher liegt, als derjenigen der hiefen Muskeln. Dadurch wird denn die Seite *bc* des Parallelogramms röfser als *ca*, das heifst der betreffende gerade Muskel mufs eine stärkere

Anstrengung machen, als der mitwirkende schiefe Muskel. Wenn sich der
471 Augapfel aber nach innen dreht, nähert sich die der veränderten Sehstellung zugehörige Drehungsaxe *UO* mehr der Axe der schiefen Muskeln, so daſs bei Convergenz der Augen die letzteren verhältniſsmäſsig mehr in Anspruch genommen werden müssen als bei Parallelismus der Blicklinien.

Es ist hierbei zu bemerken, daſs die Augenmuskeln alle einen ziemlich breiten Ansatz am Augapfel haben, wobei ihre Fasern sich sogar etwas fächerförmig ausbreiten. Dies hat zur Folge, daſs selbst wenn der Augapfel sich ziemlich bedeutend aus seiner Primärstellung gedreht hat, doch die Drehungsaxen für die einzelnen Muskeln ihre Lage im Raume nicht erheblich verändern. Nehmen wir als Beispiel den *Rectus superior* und *inferior*, welche sich oberhalb der Hornhaut, etwa 7 Millimeter von deren Rande entfernt, inseriren (*Fig. 1* bei *m* und *n* S. 5), so spannen sich, wenn das Auge nach innen gedreht ist, bei der Verkürzung des Muskels vorwiegend die Fasern der Sehne, welche nach dem äuſseren Rande der Hornhaut hin gerichtet sind, weil diese am meisten verlängert sind. Man kann sich davon an Präparaten des Augapfels mit seinen Muskeln leicht überzeugen. Wenn sich das Auge nach auſsen dreht, wirken dagegen hauptsächlich die inneren Stränge beider Sehnen. So bleibt die Richtung des Muskelzuges dieselbe trotz der veränderten Stellung des Auges.

Diese aus der Anordnung der Muskeln gezogenen Schlüsse werden bestätigt durch die Erfahrungen, welche bei krankhafter Lähmung einzelner Muskeln beobachtet worden sind. Wenn zum Beispiel der obere schiefe Muskel gelähmt ist, so kann der innere gerade Muskel, allein wirkend, das Auge noch nach unten wenden. Aber Drehung um die Axe *RI* giebt nicht bloſs eine resultirende Drehung nach der Axe *CU*, entsprechend der Länge *cg* in *Fig. 204*, wie sie verlangt wird, sondern auch eine kleinere, entsprechend der Länge *cf*, nach der Axe *CH*, welche also einer negativen Drehung, einer Drehung nach links herum um die Blicklinie, entspricht. Dabei erleiden dann die Objecte im Gesichtsfelde eine Scheindrehung nach rechts herum, wie der Zeiger einer Uhr.

Für die Bewegungen aus der Primärstellung in schräger Richtung auf- oder abwärts muſs eine Componente nach der Axe *UO* mit einer verticalen Componente verbunden werden. Um nach innen und oben zu drehen, brauchen wir also den *R. internus*, der nach innen dreht um die verticale Axe, zugleich mit dem *R. superior* und *Obl. inferior*, die vereinigt nach oben drehen um die Axe *UO*.

Mittelst des Schemas in der *Fig. 204* lassen sich diese Combinationen leicht übersehen, sonst sind für die bequemere Uebersicht derselben drehbare Modelle des Auges construirt, Ophthalmotrope, deren Beschreibung unten folgen wird.

Abgesehen von den bisher besprochenen Beschränkungen der Bewegung jedes einzelnen Auges sind nun auch die Bewegungen unserer beiden Augen in gewisser Weise sowohl von einander abhängig, als auch die Accommodation

von der Augenstellung abhängig ist. Unter den gewöhnlichen Verhältnissen des normalen Sehens richten wir immer beide Blicklinien auf einen im Raume vor uns liegenden reellen Punct, welcher nah oder weit entfernt sein kann. In diesem Punkte, dem **Blickpunkte**, schneiden sich beide Blicklinien. Trotzdem jedes Auge einen ganz selbständigen Muskelmechanismus hat. und also die Möglichkeit besitzt, jede Art der Bewegung ganz unab- 472
hängig von dem anderen Auge auszuführen, so haben wir doch nur gelernt, diejenigen Bewegungen wirklich auszuführen, welche nöthig sind, um einen reellen Punkt deutlich und einfach mit beiden Augen zu sehen. So können also beide Augen gleichzeitig gehoben werden, um einen hoch gelegenen Blickpunkt zu fixiren; sie können auch beide gleichzeitig gesenkt werden, um ein tief gelegenes Object anzublicken. Wir sind aber ohne weitere Hilfsmittel nicht im Stande, willkührlich das eine nach oben, das andere nach unten zu richten, wobei sich die Blicklinien in keinem reellen Blickpunkt schneiden würden.

Wir können ferner beide Blicklinien nach rechts oder beide nach links wenden, um beziehlich einen rechts oder links gelegenen Gegenstand zu betrachten. Wir können sie auch convergent machen, indem wir die rechte nach links, die linke nach rechts wenden, wenn wir einen nahen Fixationspunkt wählen. Aber Jemand, der sich nicht schon besonders darauf eingeübt hat, kann die Blicklinien nicht divergent machen, indem er die rechte nach rechts, die linke nach links wendet.

Endlich folgt auch bei normalen Augen die Accommodation immer der Entfernung desjenigen Gegenstandes, auf welchen die Blicklinien convergiren. Bei parallelen Blicklinien sind die Augen für unendliche Ferne eingerichtet, bei convergirenden für die Nähe, und sind desto stärker accommodirt, je stärker die Convergenz ist. Kurzsichtige Augen sind dagegen für ihren Fernpunkt accommodirt, so lange die Blicklinien auf ihn oder auf einen noch entfernteren Punkt convergiren. Für nähere Blickpunkte folgt die Accommodation der Convergenz. Sehr kurzsichtige Augen können aber ohne Brille oft gar nicht mehr binocular fixiren und accommodiren.

Obgleich nun der Zwang, beide Augen übereinstimmend zu bewegen und auch die Accommodation damit in Uebereinstimmung zu bringen, beim normalen Sehen so unausweichlich erscheint, dafs ältere Physiologen diese Bewegungen in die Klasse der unwillkürlich eintretenden Mitbewegungen rechneten, so läfst sich doch zeigen, dafs die Gesetzmäfsigkeit dieser Verbindungen nur auf Einübung beruht. Man mufs dabei im Allgemeinen beachten[1], dafs die Intention unseres Willens bei allen willkürlichen Bewegungen sich immer nur auf die Erreichung eines direct und deutlich wahrnehmbaren äufseren Erfolges bezieht. Bei den Bewegungen unserer Extremitäten können wir allerdings durch den Gesichtssinn die Stellung wahrnehmen, in welche das Glied durch eine gewisse Willensaction versetzt

[1] S. oben § 26. S. [illegible]

wird, und deshalb ist für sie und für alle durch das Gesicht und Getast wahrnehmbaren Theile des Körpers die Stellung des zu bewegenden Theils der nächste bewufste Zweck der darauf gerichteten Willensactionen. Bei allen nicht sichtbaren und nicht fühlbaren Theilen des Körpers ist es aber nicht die Stellung und Bewegung, sondern erst der durch diese zu erreichende Erfolg, den wir durch eine willkürliche Action zu erreichen wifsen. So gebrauchen wir unseren Kehlkopf und die Theile unseres Mundes mit einer bewundernswürdigen Sicherheit und Geschicklichkeit, um die zartesten Veränderungen der Tonhöhe und Klangfarbe unserer Gesangs- und Sprachlaute hervorzubringen, und doch weifs der Laie gar nicht, und der Physiologe unvoll-
473 kommen genug, was für Bewegungen wir eigentlich dabei ausführen. Hier bezieht sich also die Willensintention nur auf den hervorzubringenden Ton, nicht auf die Bewegung der einzelnen Theile des Kehlkopfs, und wir haben gelernt, alle diejenigen Bewegungen des Kehlkopfs auszuführen, die für einen solchen Zweck nöthig sind, aber keine anderen.

Aehnlich ist es mit den Augen; wir können ihre Bewegungen nicht selbst sehen, aufser wenn wir vor einem Spiegel stehen; wir können sie auch nur sehr unvollkommen fühlen. Aber wir nehmen sehr deutlich wahr die Verschiebung der optischen Bilder auf der Netzhaut, oder vielmehr das entsprechende Wandern des Blickpunktes im Gesichtsfelde, wenn wir Bewegungen mit den Augen machen. Dies ist also auch die Wirkung, auf die unsere Willensintention gerichtet ist, und welche wir willkürlich zu erreichen wissen. Wenn wir wünschen, dafs Jemand, der noch nicht über seine Augenbewegungen zu reflectiren gelernt hat, die Augen nach rechts wenden soll, so müssen wir ihm nicht sagen: „Wende dein Auge nach rechts“, sondern „Sieh jenen rechts gelegenen Gegenstand an“. Und selbst der Geübte beherrscht seine Augenbewegungen sicherer, wenn er entsprechende Gegenstände zur Fixation wählt, als wenn er eine bestimmte Stellung der Augen ohne solche Fixation einhalten will. Ich kenne einen ausgezeichneten und in der Optik höchst erfahrenen und geübten Physiker, dem es unmöglich ist, seine Gesichtslinien parallel zu stellen, wenn er nicht sehr ferne Objecte vor sich hat, oder Doppelbilder aus einander zu treiben, wenn er nicht ein passendes Fixationsobject dazu hat, und auch dann sie schwer auseinanderhält, sobald er auf sie zu achten anfängt. Ich führe dies Beispiel an, weil es zeigt, welches der Zustand des natürlichen Auges ist, mit dem noch keine physiologischen Experimente angestellt sind, und welches noch nicht gelernt hat, über seine Stellungen zu reflectiren, trotzdem daneben vollständige Einsicht in die Theorie des Sehens vorhanden ist.

Unsere Willensintention beim Gebrauche der Augen ist also darauf gerichtet, nach einander einzelne Punkte des Gesichtsfeldes möglichst deutlich mit beiden Augen zu sehen; dies wird erreicht, wenn wir das betreffende Object in beiden Augen auf dem Centrum der Netzhautgrube abbilden, und wir haben dem entsprechend gelernt, unsere beiden Augen so zu stellen und so zu accommodiren, dafs dies geschieht. Andere Bewegungen mit den

Augen auszuführen, welchen kein solcher Zweck des möglichst deutlichen Sehens zu Grunde liegt, auf den unser Willen sich richten könnte, haben wir nicht gelernt.

Es scheint mir damit zusammenzuhängen, dafs wir leichter parallele, ja selbst divergente Stellungen der Blicklinien hervorbringen beim Sehen nach oben, wo sich der Horizont und der Himmel darzubieten pflegt, convergente leichter beim Sehen nach unten, wo der Fufsboden und die Objecte, welche man in den Händen hält, zu betrachten sind.

Indem man aber nun die Art der Willensanstrengung kennen lernt, welche für Erreichung der verschiedenen Augenstellungen als solcher dient, kann Jemand, der viel physiologisch-optische Versuche anstellt, allmählig auch lernen, zunächst solche normale Augenstellungen hervorzubringen, für welche zur Zeit kein Fixationsobject vorhanden ist, indem man gleichsam nach einem 474 imaginären Fixationsobjecte blickt. Wenn man sich also zum Beispiel nahe vor dem Nasenrücken ein solches Object vorstellt, oder gleichsam nachsucht, ob keines dort vorhanden sei, kann man so starke Convergenz hervorbringen, dafs die Augen wie die eines Schielenden aussehen. Und umgekehrt kann man nahe Gegenstände mit parallelen Gesichtslinien betrachten, wenn man durch sie hin in die Ferne zu sehen sucht, oder wenn man, wie das Volk sagt, nach ihnen hingewendet „in das Blaue stiert", das heifst die Art von Blick annimmt, welche einzutreten pflegt, wenn man in Gedanken versunken gar nicht auf die Gegenstände achtet, die man vor sich hat, wobei denn die Accommodationsanstrengung nachläfst, ebenso die entsprechende Convergenzstellung, und die Augen ihre Fernstellung annehmen.

Geht man von Convergenzstellungen zur parallelen Stellung der Blicklinien über, ohne ein bestimmtes einzelnes Object zu fixiren, und übertreibt man die zu diesem Uebergange nöthige Anstrengung, so bringt man auch schwache Divergenzstellungen heraus.

Die Fähigkeit, jeder Zeit und ohne entsprechendes Object Convergenzstellungen und Parallelstellungen der Blicklinien hervorbringen zu können, ist für Jeden, der sich mit physiologisch-optischen Untersuchungen beschäftigen will, von grofser Wichtigkeit, und mufs geübt werden.

Dann aber kann man nun auch, freilich zunächst nur in geringerem Grade, diejenigen Combinationen von Augenstellungen hervorbringen, welche beim gewöhnlichen Sehen nicht vorkommen. Um es zu thun, braucht man nur die Augen unter solche Bedingungen zu versetzen, dafs nur durch Abweichung von den normalen Stellungen einfache und deutliche Bilder herzustellen sind.

Was zunächst die Verbindung zwischen Convergenz und Accommodation betrifft, so wird diese sogleich verändert, wenn man eine Brille aufsetzt. Normalsichtige Augen zum Beispiel, welche eine Brille mit schwachen Concavgläsern vorsetzen, sind gezwungen, um entfernte Gegenstände deutlich zu sehen, bei parallel gerichteten Blicklinien doch für die Nähe zu accommodiren. Ist die Brille nicht zu stark, so ist es auch sogleich möglich, die Augen

dieser neuen Aufgabe anzupassen, obgleich die Augen dabei das Gefühl ungewöhnlicher Anstrengung haben und bald ermüden. Daher denn überhaupt der Gebrauch einer Brille in der ersten Zeit, wo man sie zu tragen beginnt, immer mit einer merklichen Anstrengung verbunden ist, und umgekehrt Leute, die lange Zeit eine Brille getragen haben, wenn sie sie abnehmen, einen angestrengten und gleichsam scheuen Blick zeigen, selbst für solche Gegenstände, für welche sie accommodiren können. Es ist dies eine allgemeine Erfahrung, dafs wir gut eingeübte Gruppenbewegungen mit viel geringerer Anstrengung ausführen, als ungeübte. Man denke daran, welche Anstrengung ein ungeübter Schwimmer oder ein ungeübter Schlittschuhläufer aufwenden, um fort zu kommen, und wie leicht dasselbe nachher geht, wenn sie sich geübt haben. Gerade dasselbe geschieht bei den Augen, wenn wir ihre Bewegungen in ungewöhnlicher Weise combiniren sollen.

Eine veränderte Verbindung von Convergenz und Accommodation kann
475 man auch erreichen, wenn man stereoskopische Bilder betrachtet und deren Entfernung von einander willkürlich verändert. Davon werden wir unten ausführlicher handeln.

Divergenz der Augen läfst sich ebenfalls bei der Betrachtung stereoskopischer Bilder erzielen, wenn man sie immer weiter von einander entfernt und dabei ihre Vereinigung zu einem Bilde zu erhalten sucht. Ich kann auf diese Weise eine Divergenz meiner Blicklinien bis zu 8 Grad hervorbringen. Dasselbe läfst sich auch erreichen, wenn man zwei gleiche schwach brechende Glasprismen von 6 bis 8 Grad brechendem Winkel so vor beide Augen nimmt, dafs die brechenden Winkel (die dünnsten Stellen der Prismen) nach unten sehen, und durch sie nach entfernten Gegenständen blickt. Dazu braucht man bei der angegebenen Haltung der Prismen parallele Gesichtslinien, die aber etwas mehr nach unten gerichtet sind, als ohne die Prismen. Wenn man nun die Prismen langsam dreht, so dafs ihre brechenden Winkel sich beide nach aufsen zu wenden anfangen, so kann man doch noch die vorher gesehenen Gegenstände fortfahren zu fixiren und einfach zu sehen. Man mufs dazu aber jetzt die Augen divergent stellen. Man kann dasselbe auch mit einem Prisma erreichen, wenn man dasselbe mit dem brechenden Winkel nach aufsen vor ein Auge hält, und zuerst nahe Gegenstände betrachtet, welche unter diesen Umständen noch convergente oder parallele Blicklinien erfordern, und dann allmählig zu entfernteren Objecten übergeht, welche Divergenz verlangen.

Endlich haben sowohl Donders als ich selbst beobachtet, dafs man verschiedene Erhebung beider Augen erzielen kann, wenn man ein schwach brechendes Prisma vor ein Auge nimmt, und den brechenden Winkel zuerst nach innen richtet. Blickt man so nach entfernten Gegenständen, so mu man die Gesichtslinien etwas convergent stellen, was ohne Schwierigkeit zu erreichen ist. Jetzt drehe man das Prisma ganz langsam so, dafs der brechende Winkel allmählig immer weiter nach unten rückt, und suche die Fixation des Objects zu erhalten. Es gelingt dies nach einiger Uebung. In

sem Falle sieht das freie Auge den Gegenstand direct mit gerade auf ihn gerichteter Blicklinie; das vom Prisma bedeckte Auge dagegen mufs sich rklich nach unten wenden, um den Gegenstand zu fixiren. Hat man eine che Stellung der Augen erreicht, so nehme man das Prisma plötzlich fort, n sieht dann das fixirte Object in unter einander stehenden Doppelbildern m Zeichen, dafs die beiden Blicklinien nicht gleich hoch gerichtet sind. ch in der Richtung von oben nach unten bringe ich Abweichungen von ohne Schwierigkeit zu Stande.

Aus diesen Thatsachen geht zweifellos hervor, dafs die Verbindung, lche zwischen den Bewegungen beider Augen besteht, nicht rch einen anatomischen Mechanismus erzwungen, sondern lmehr durch den blofsen Einflufs unseres Willens veränderlich ist, und fs wir nur in der Bildung unserer Willensintentionen beschränkt sind, ofern diese nur zu dem Zweck, einfach und deutlich zu sehen, von uns geübt sind.

Ich habe schon früher auf andere Erfahrungen aufmerksam gemacht, dasselbe beweisen, und mir auch von andern Beobachtern bestätigt rden sind. Wären die Augenbewegungen mittels eines anatomisch vor-ildeten Mechanismus coordinirt, so wäre zu erwarten, dafs dieser desto 476
lerstandsloser wirken würde im Zustande der Schläfrigkeit, wo die Energie s Willens gebrochen ist. Ich beobachte indessen regelmäfsig, dafs wenn Abends beim Lesen schläfrig werde, oder nach einem langen Diner aus cksicht auf die Gesellschaft meine Augen offen zu halten strebe, ich ppelbilder der vor mir liegenden Objecte sehe, welche bald nur zu grofse vergenz, bald verschiedene Höhe, bald abnorme Raddrehungen der Augen zeigen. So wie ich durch dergleichen ungewöhnliche Doppelbilder auf-rksam gemacht mich ermuntere, gehen die Doppelbilder meist schnell der zusammen, und wenn ich sie dann willkürlich auseinander zu treiben he, kommen nur die gewöhnlichen neben einander stehenden Doppelbilder Stande, die von zu grofser oder zu geringer Convergenz für das Object rrühren.[1]

Dieselbe Art von Zwang nun, welche die Bewegungen beider Augen t einander und mit der beiderseitigen Accommodation verbindet, besteht ch betreffs der Raddrehung, die zu einer bestimmten Lage des Gesichts-nktes gehört, und es war von vorn herein zu vermuthen, dafs auch die ddrehung nur deshalb unserm Willen entzogen sei, weil wir durch eine vaige Veränderung derselben keinen bestimmten praktischen und wahr-hmbaren Erfolg erzielen können. Es ist mir jetzt gelungen, die Richtigkeit ser Annahme direct zu erweisen. Man kann nämlich auch die Raddrehung

[1] Herr E. Hering hat in seinen Beiträgen zur Physiologie. 4. Heft. S. 274. die Richtigkeit dieser bachtung bezweifelt. Er hat offenbar die Erscheinung, auf die es ankommt, nicht gesehen. Die tzt oben angeführte Beobachtung beweist, dafs ich nicht in den Irrthum verfallen bin, den er mir chreibt, und der von Jemandem, welcher auch nur ein wenig Uebung in der Beobachtung von Doppel-ern hat, schwerlich begangen werden kann, dafs ich nämlich wegen schiefer Kopfhaltung neben ander stehende Bilder für über einander stehend gehalten hätte

der Augen ganz erheblich verändern, wenn man dieselben unter Umstände bringt, wo sie nur bei veränderter Raddrehung einfach sehen können.

Zu dem Ende benutze ich zwei gleichschenkelige und rechtwinkelige Glasprismen. Wenn man durch ein solches Prisma parallel der Hypotenusenfläche hindurchsieht, wie *Fig. 205* anzeigt, so wird der Lichtstrahl *ab*, wo er durch die Cathetenfläche des Prisma in dieses eintritt, gebrochen und gegen die Hypotenusenfläche hin abgelenkt, von dieser bei *c* unter gleichem Winkel reflectirt, und tritt dann bei *d* wieder aus dem Prisma aus. Wenn *b* und *d* gleich weit von der Hypotenusenfläche entfernt sind, so geht der Strahl *ab* nach dem Austritt aus dem Prisma in derselben Richtung fort, in der er eingetreten ist. Strahlen dagegen, welche wie *ab'* und *ab''* nicht parallel der Hypotenusenfläche auffallen, und nach der Brechung von dieser (bei *c'* und *c''*) reflectirt werden, treten nachher aus dem Prisma so aus, dafs der eintretende und austretende Strahl *ab'* und *d'e'*, oder *ab''* *d''e''* gleiche Winkel mit der Hypotenusenfläche bilden. Ein solches Prisma wirkt also unter diesen Umständen wie ein Spiegel, aber mit dem Vortheile, dafs die Richtung, in der
477 der mittlere Theil des Spiegelbildes erscheint, unverändert bleibt. Indem der Beobachter in der Richtung *ab* durch das Prisma hindurchsieht, erblickt er die jenseits liegenden Gegenstände, aber so, dafs Rechts in Links verkehrt ist, wenn die Hypotenusenfläche des Prisma senkrecht steht, oder Oben in Unten, wenn sie horizontal liegt.

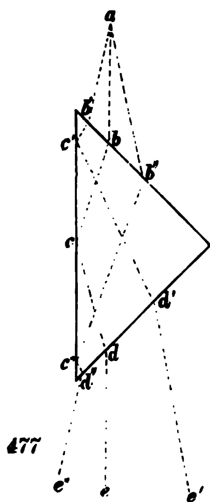


Fig. 205.

Wenn man nun den vom ersten Prisma reflectirten Strahl *de* in derselben Weise durch ein zweites Prisma gehen läfst, und die Hypotenusenflächen beider parallel liegen, so wird die Umkehrung der Bilder, welche das erste Prisma erzeugt hatte, durch das zweite, was noch ein Mal in derselben Weise umkehrt, wieder aufgehoben. Alle Gegenstände erscheinen durch zwei solche Prismen gesehen in ganz unveränderter Lage und Stellung. Macht man aber die Hypotenusenflächen der beiden Prismen nicht ganz parallel, sondern dreht das eine Prisma ein wenig um eine dem Strahl *ae* parallele Axe, wie in nebenstehender *Fig. 206*, so wird die Umkehrung, welche das erste Prisma hervorbrachte, durch das zweite nicht vollständig wieder aufgehoben, sondern es bleibt eine kleine Drehung der gesehenen Gegenstände um den ungebrochenen Strahl *ae* als Axe zurück, welche doppelt so grofs erscheint, als die wirkliche Drehung des einen Prisma gegen das andere ist. Uebrigens können beide Prismen zusammen genommen, wenn sie nur gegen einander festgestellt sind, beliebig um ihren gemeinsamen Axenstrahl

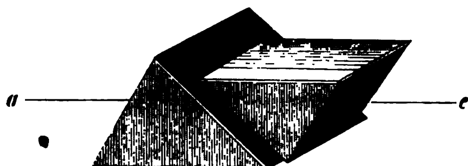


Fig. 206.

gedreht werden, ohne dafs die scheinbare Lage der dadurch gesehenen Gegenstände eine Veränderung erlitte.

Wenn man nun eine solche Combination zweier Prismen, welche eine scheinbare Raddrehung der Objecte um die Gesichtslinie von etwa 5 Grad hervorbringt, vor ein Auge nimmt und mit beiden Augen gleichzeitig entferntere Objecte betrachtet, die eine grofse Mannigfaltigkeit verschiedener deutlich erkennbarer Theile zeigen, so sieht man anfangs, wie zu erwarten ist, gekreuzte Doppelbilder[1] der Objecte, die sehr auffallend und leicht zu bemerken sind. Wenn man aber fortfährt, die Objecte zu betrachten, und dabei den Blick vielfach über die einzelnen ausgezeichneten Punkte derselben herumwandern läfst, welche man alle nach einander einfach sehen kann, so schwinden die Doppelbilder endlich, und man sieht vollständig einfache Bilder gerade so gut, wie beim gewöhnlichen Sehen. Wenn man nun einige Minuten lang in dieser Weise einfach gesehen hat, dann das Prismensystem fortnimmt und mit freien Augen dieselbe Objecte betrachtet, so erblickt man jetzt im ersten Moment gekreuzte Doppelbilder, die sich aber schnell wieder vereinigen.

Den Verdacht, dafs bei diesem Versuche die Doppelbilder nicht vereinigt, sondern nur übersehen werden, kann man erstlich dadurch beseitigen, dafs man in einiger Entfernung vor die betrachteten Objecte ein senkrechtes Stäbchen hält, welches in Doppelbildern erscheint. Diese haben dann nur die gewöhnliche schwache Neigung zu einander, die Neigung der scheinbar 478
verticalen Meridiane. Daraus folgt also, dafs die horizontalen Netzhautmeridiane hinter den Prismen so eingestellt werden, dafs sie entsprechende gleiche Bilder empfangen.

Ferner habe ich auch zur Controlle, während ich durch die Prismen sah, Nachbilder eines horizontalen Streifens in beiden Augen entwickelt, und diese, nachdem ich die Prismen entfernt hatte, auf eine weifse Fläche geworfen. Im ersten Augenblicke erschienen dann die Nachbilder beider Augen verschieden geneigt gegen ein und dieselbe objective Linie des Gesichtsfeldes. Sobald aber die Augen in ihre natürliche Stellung zurückgegangen waren, erschienen beide Nachbilder in gleicher Lage im Gesichtsfelde. War die objective Linie, von der die Nachbilder genommen wurden, horizontal, und das rechte Auge mit einem Doppelprisma bewaffnet, welches 5° nach links drehte, so erschienen die Nachbilder beider Augen, nachdem die Prismen entfernt und beide Augen in ihre normale Stellung übergegangen waren, etwas nach links gedreht, woraus folgte, dafs beim Sehen durch das Prisma das linke Auge etwas nach rechts gedreht gewesen war, während das rechte Auge, der scheinbaren Drehung des Gesichtsfelds folgend, nach links gedreht war. Die Nachbilder beider Augen aber zeigten sich hierbei auf correspondirenden Stellen entwickelt, und daraus folgt, dafs auch correspondirende Stellen beider Netzhäute das Urbild aufgenommen hatten. Aus diesen

[1] Ich verstehe hier unter gekreuzten Doppelbildern solche, die eine Raddrehung gegen einander erlitten haben.

Versuchen folgt also, dafs auch die Raddrehungen des Auges unter besonderen Umständen verändert werden können, wenn nämlich abnorme Drehungen dieser Art gebraucht werden, um die Objecte eines ausgedehnten und an Einzelheiten reichen Gesichtsfeldes in ungekreuzten Doppelbildern zu sehen. Die äufserste Drehung des Gesichtsfeldes, welcher ich bei diesen Versuchen mit den Augen folgen konnte, betrug 7 Grad. Dabei sind nun wahrscheinlich beide Augen um gleich viel, aber in entgegengesetztem Sinne gedreht worden, jedes also etwa um $3^{1}/_{2}$ Grad. Die abweichende Stellung der Augen wird dabei nicht unmittelbar durch den blofsen Anblick der Divergenz der Doppelbilder hervorgebracht, sondern erst durch eine Reihe correspondirender Bewegungen beider Augen, indem diese das Gesichtsfeld nach allen Richtungen durchlaufen, so dafs sie fortdauernd die Einheit des Fixationspunktes erhalten.

Diese Erfahrungen an den Augenmuskeln sind von grofser Wichtigkeit für die Lehre von der Willkürlichkeit der Bewegungen überhaupt. Gewöhnlich stellt man sich vor, dafs die Fähigkeit, eine bestimmte willkürliche Bewegung auszuführen, gleich von vorn herein durch die Natur gegeben sei, und nicht weiter gelernt zu werden brauche, aufser etwa in den Fällen, wo wie beim Gehen, Stelzenlaufen, Schlittschuhlaufen, Schwimmen ein gewisses künstliches Gleichgewicht bei der Bewegung zu erhalten oder die Wirkung anderer Naturkräfte dabei mit zu beachten sei. Es müssen aber auch für andere Bewegungen die dazu nöthigen Willensintentionen erst gelernt werden. Selbst unter den Bewegungen der am freiesten gebrauchten Glieder unseres Körpers, wie zum Beispiel der oberen Extremitäten, findet man leicht Fälle der Art, welche erst eine besondere Einübung erfordern, ehe man sie ausführen kann.
479 So kann man zum Beispiel den horizontal ausgestreckten Arm im Schultergelenk um seine Längsaxe rollen, ebenso Radius und Hand um die Ulna. Beide Rollungen werden durch Muskelgruppen ausgeführt, die ganz unabhängig von einander sind. Wir sind aber nur geübt, beide Rollungen in gleichem Sinne auszuführen, weil unsere Absicht unter gewöhnlichen Umständen nur dahin geht, die Hand in die eine oder andere Rotationsstellung zu bringen. Nun kann man die Aufgabe stellen, beide Rollungen in entgegengesetztem Sinne zu machen, so dafs der Ellbogen sich dreht, die Hand aber stehen bleibt. Es ist dies eine Art der Bewegung, die keinerlei praktischen Zweck hat, und deshalb gewöhnlich niemals ausgeführt wird. Auch habe ich bisher noch Niemand gefunden, der dies auf die erste Aufforderung hätte thun können. Und doch ist diese Bewegung ebenso gut zu lernen, wie die abnormen Augenbewegungen. Man braucht nur mit der Hand einen festen Gegenstand zu fassen, und den Ellenbogen zu drehen, dann den Griff der Hand allmählig zu lockern, und dieselbe Bewegung zu machen, bis man die Hand ganz frei lassen kann. Bei diesem Beispiele finden wir also eine ganz ähnliche Beschränkung der Willkürlichkeit in der Combination der Bewegungen, welche anfangs unüberwindlich scheint, und doch durch zweckmäfsig geleitete Einübung überwunden werden kann.

Wir haben jetzt zu untersuchen, welche Ursachen bei der Einübung der

Augenbewegungen darauf hinwirken können, dafs nur gewisse bestimmte Raddrehungen mit den verschiedenen Richtungen beider Gesichtslinien verbunden werden.

Was zuerst das Gesetz von Donders betrifft, wonach der Raddrehungswinkel nur abhängt von der zeitweiligen Richtung beider Gesichtslinien, so ist leicht einzusehen, dafs die Einhaltung dieses Gesetzes eine wesentliche Erleichterung und Sicherung für die Lösung der Aufgabe gewähren mufs, trotz der Augenbewegungen und trotz der Verschiebungen der Netzhautbilder, auf der Netzhaut ruhende Objecte als ruhend anzuerkennen. Wir lassen unseren Blick fortdauernd im Gesichtsfelde wandern, weil wir nur so nach einander die einzelnen Theile des Gesichtsfeldes möglichst deutlich sehen können. Dafs wir sie mit beiden Augen möglichst deutlich sehen, wird zunächst dadurch erreicht, dafs wir beide Gesichtslinien auf den zeitweilig betrachteten Punkt hinrichten und die Augen für ihn accommodiren. Dabei könnten die beiden Augen noch in beliebiger Weise um die Blicklinie als Axe gedreht werden, ohne dafs wir aufhören würden, mit beiden Augen den betreffenden Punkt zu fixiren. Wenn wir nun in dieser Weise ein mit ruhenden Objecten angefülltes Gesichtsfeld vor uns haben, so wechseln mit der Wanderung des Blicks auch fortdauernd die Empfindungen in den einzelnen Nervenfasern der Netzhaut. Wenn wir zur Betrachtung eines schon früher fixirten Objectes *A* zurückkehren, und nun eine andere Raddrehung der Augen brauchen wollten, als das erste Mal, so würde zwar der Eindruck des fixirten Punktes auf die beiden Netzhautgruben derselbe sein wie früher, aber die Netzhautbilder der Nachbarschaft würden eine andere Lage auf der Netzhaut haben, die rings um die Netzhautgrube liegenden Nervenfasern würden ganz andere Lichteindrücke erhalten, als das erste Mal; und um zu constatiren, dafs das Object trotz dieses veränderten Systems von Empfindungen doch dasselbe geblieben ist, müfsten wir das Auge ganz in die alte Stellung 480
auch in Bezug auf die Raddrehung zurückführen, um zu prüfen, ob dann bei Herstellung der früheren Stellung auch der alte Eindruck wieder erhalten werde.

Da nun für das Erkennen der Objecte in der Regel beim natürlichen Sehen dadurch nichts gewonnen wird, dafs wir sie mit veränderten Raddrehungen ansehen, und nur die Rückkehr in eine unverändert bleibende bestimmte Stellung nöthig ist, um das ruhende Object als ruhend wiederzuerkennen, so werden wir von Anfang an uns gewöhnen müssen, für bestimmte Richtungen der Gesichtslinien auch immer wieder bestimmte Grade der Raddrehung zu gebrauchen.

Bei hinreichender Einübung auf die Kenntnifs der Veränderungen, welche die Empfindungen der Netzhaut bei Drehung des Auges um die Blicklinie erleiden, würde es zweifelsohne auch möglich werden, die unveränderte Lage der Objecte trotz des veränderten Netzhautbildes richtig zu beurtheilen. Aber es würde dies eine neue und grofse Complication in der Einübung unseres Auges für die Gesichtswahrnehmungen sein, welche gar keinen

Vortheil bringen würde, und der wir deshalb von vornherein aus dem Wege gehen.[1]

Durch dieses Princip, welches ich das Princip der leichtesten Orientirung für die Ruhestellungen des Auges genannt habe, wird zunächst verlangt, dafs jeder bestimmten Richtung beider Gesichtslinien bestimmte Werthe der Raddrehung beider Augen zugehören, aber es wird noch nicht bestimmt, welche Werthe zu nehmen seien.

Bisher haben wir nur den Fall untersucht, wo dasselbe Object zwei Mal nach einander direct angeblickt wurde; nun ist noch zu fordern, dafs ein ruhendes Object als ruhend erkannt werde, wenn es einmal direct und dann indirect betrachtet wird.

Wir wollen die Untersuchung zunächst für ein einziges, isolirt gedachtes, Auge führen, und später zusehen, welche Veränderungen bei der Verbindung mit einem zweiten Auge einzutreten haben. Wir beschränken uns ferner auf die Annahme unendlich kleiner Verschiebungen des Auges; denn wenn die Anerkennung der Ruhe des Objects erhalten bleibt während der unendlich kleinen Verschiebungen, die während der unendlich kleinen Zeittheilchen einer ausgedehnteren Bewegung stattfinden, so ist diese Anerkennung auch am Ende der Bewegung erhalten.

Wir wollen eine Anzahl von Netzhautpunkten mit $a$, $b$, $c$, $d$ u. s. w. bezeichnen, und es möge $a$ das Centrum der Netzhautgrube sein. Die Punkte des Bildes, welche auf diese Netzhautpunkte fallen, bezeichnen wir mit $A$, $B$, $C$, $D$. Der Punkt $A$ des Bildes ist also fixirt; der Punkt $B$ sei von $A$, also auch $b$ von $a$ nur um eine verschwindend kleine Gröfse entfernt. Jetzt
481 gehe der Blick vom Punkte $A$ des Bildes über auf den Punkt $B$, so dafs jetzt $B$ auf dem Centrum $a$ der Netzhaut abgebildet sei. Dabei werden die Punkte $A$, $C$, $D$ u. s. w. des Bildes auf andere Netzhautpunkte fallen, die wir mit $\alpha$, $\gamma$, $\delta$ u. s. w. bezeichnen wollen. Während also die frühere Empfindung des Punktes $b$ übergeht auf $a$, geht die Empfindung, welche $a$ hatte, über auf $\alpha$, die von $c$ auf $\gamma$, die von $d$ auf $\delta$ u. s. w. Wenn nun dasselbe System von Empfindungsänderungen immer wieder eintritt, so oft wir die Empfindung, welche $b$ hatte, durch einen Willensimpuls, der Bewegung zur Folge hat, übergehen lassen auf $a$, so werden wir lernen, diesen Inbegriff von Aenderungen als sinnlichen Ausdruck einer Augenbewegung zu betrachten, dem keine Aenderung in den Objecten entspricht. Die Probe dafür wird sein, dafs wir wiederum in jedem beliebigen Zeitmomente $A$ fixiren können, und dann das erste System von Empfindungen unverändert wiederfinden. Es kommt aber eben darauf an, dafs wir, auch ohne diese Probe anzustellen,

---

[1] Ich habe früher (Archiv für Ophthalmologie. IX, 2, 156—157) noch hinzugefügt, dafs auch die Lage der Objecte im Raume richtig beurtheilt werden sollte. Dagegen hat Herr E. Hering den Einwand gemacht, dafs die Beurtheilung der Lage durch die Raddrehungen der Augen überhaupt gestört werde. In gewissen, aber freilich viel beschränkteren Fällen, als Herr Hering meint, ist das richtig, wie der nächste Abschnitt lehren wird, und deshalb habe ich die Orientirung über die wirkliche Lage der Objecte in der oben gegebenen Ableitung aus dem Spiele gelassen, und mich auf das Wesentliche beschränkt, dafs ruhende Objecte als ruhend anerkannt werden.

ährend wir $B$ fixiren, lernen, dafs die beobachtete Aenderung keine
enderung der Objecte ist.

Damit nun jedes Mal, wenn die Fixation übergeht auf den dem Netz-
utpunkte $b$ correspondirenden Punkt des Gesichtsfeldes, auch gleichzeitig
das bisherige Bild von $a$, $\gamma$ das von $c$, $\delta$ das von $d$ u. s. w. empfange,
es nöthig, dafs das Auge diese Bewegung immer durch Drehung um eine
d dieselbe, in Beziehung zum Augapfel festgelegene Axe ausführe, welche
r mit 𝔅 bezeichnen wollen.

Nun ist $b$ nur einer der dem Punkte $a$ benachbarten Netzhautpunkte;
möge $c$ ein anderer von $a$ unendlich wenig entfernter und in anderer
chtung als $b$ gelegener Punkt sein, so wird eine zweite im Augapfel fest-
legene Drehungsaxe ℭ existiren müssen, um den Blick in der Richtung
zu verschieben, wenn diese Verschiebung immer mit der gleichen Ver-
niebung des Netzhautbildes auf der Netzhaut, also mit demselben Systeme
n Empfindungsänderungen begleitet sein soll.

Jeden anderen Punkt $F$ des Gesichtsfeldes in der Nähe des Fixations-
nktes $A$ werden wir mit dem Blicke alsdann erreichen können durch eine
ehung von gewisser sehr kleiner Gröfse um die Axe 𝔅 und durch eine zweite
ehung von gewisser sehr kleiner Gröfse um die Axe ℭ. Da man nun
kanntlich bei unendlich kleinen Drehungen die Drehungsaxen nach dem
incipe des Kräfteparallelogramms zusammensetzen kann, und die Diagonale
r Axen 𝔅 und ℭ immer in der durch 𝔅 und ℭ gelegten Ebene liegen
ıfs, so folgt, dafs das Auge sich beim Blicke nach $F$ in dieselbe Stellung
ingen läfst bei einer einfachen Drehung um eine einzige in der Ebene 𝔅ℭ
legene Drehungsaxe, wie bei der Drehung erst um 𝔅, dann um ℭ. Und
es bei der Richtung des Blickes nach $F$ nach dem Gesetze von Donders,
elches wir eben zu begründen versucht haben, immer dieselbe Richtung
ben mufs, auf welchem Wege es auch dahin geführt sein mag, so folgt,
fs der Uebergang des Blickes von $A$ nach $F$ oder irgend einem andern
n $A$ unendlich wenig entfernten Punkte auszuführen ist durch Drehung
s Augapfels um eine Drehungsaxe, die immer in ein und derselben,
lativ zum Augapfel fest liegenden Ebene 𝔅ℭ gelegen ist. Dies würde
e Bedingung dafür sein, dafs jede unendlich kleine Verschiebung des Blicks
allen Fällen, wo sie eintritt, immer von einem constanten Systeme von 182
enderungen der Empfindung in den Sehnervenfasern begleitet ist, welches
hliefslich als der sinnliche Ausdruck der zu jener Verschiebung des Blicks
hörigen Augenbewegung kennen gelernt wird.[1]

[1] Herr E. Hering hat auf S. 27[illegible]–28[illegible] seiner Beiträge zur Physiologie diese Ableitung als unhaltbar
erweisen gesucht. Das Mifsverständnifs des ersten Princips, welches eben erwähnt wurde, wobei er
e Nebensache zur Hauptsache gemacht hat, wirkt hier weiter. Er erklärt das zweite Princip für
erflüssig neben dem ersten. Das ist es nicht. Denn das erste Princip bezweckt nur, dafs ruhende
jecte als ruhend erkannt werden, so oft die Blicklinie in dieselbe Richtung zurückkehrt, das
eite, dafs sie auch bei verschiedener Richtung der Blicklinie als ruhend erkannt werden. Herr
ring zeigt weiter, dafs wenn man das zweite Princip ohne das erste gebraucht, man Unsinn daraus
leiten kann. Ich habe aber das zweite Princip nie anders, denn als Ergänzung des ersten ange-
ndet, auch ist es selbstverständlich, dafs dies nicht geht. Ich hoffe in der oben gegebenen Darstellung
ine Ideen genauer ausgedrückt und das genannte Mifsverständnifs beseitigt zu haben.

Daſs die Drehungsaxen für irgend welche sehr kleine Verschiebungen des Auges, die von einer bestimmten festen Stellung ausgehen, alle in einer und derselben Ebene liegen müssen, folgt aus der eben gegebenen Betrachtung für alle Theile des Blickfeldes, wenn die Raddrehung eine continuirliche, nicht sprungweise sich ändernde Function der Richtung der Blicklinie sein soll. Das Princip der leichtesten Orientirung würde fordern, daſs diese Ebene, wo möglich, relativ zum Augapfel fest wäre.

Es wird natürlich am leichtesten sein, die Veränderungen der Empfindung bei der Bewegung des Augapfels als Ausdruck einer solchen Bewegung und nicht einer Bewegung der Objecte zu erkennen, wenn der Uebergang des Blicks auf den dem Netzhautpunkte *b* entsprechenden Punkt des Gesichtsfeldes immer mit derselben Verrückung des Netzhautbildes auf der Netzhaut begleitet wäre, unabhängig davon, welche Anfangslage der Augapfel hat. Es würde eine viel complicirtere Einübung in dem Gebrauche des Auges verlangen, wenn die Objecte immer als ruhend erkannt werden sollten, trotzdem die genannte Verschiebung des Netzhautbildes beim Ausgange von verschiedenen Ausgangspunkten sich als verschieden erweisen sollte. Für unmöglich freilich würden wir eine Einübung der Art nicht von vorn herein erklären können. Die Erfahrung lehrt aber, wie wir sehen werden, daſs sie nicht besteht.

Die hier aufgestellte Bedingung für die leichteste Orientirung beim indirecten Sehen ist nämlich vom menschlichen Auge nicht vollständig erfüllt und kann auch, wie die analytische Behandlung des Problems zeigt, welche ich in der ersten Auflage dieses Buches gegeben habe,[1] nicht vollständig erfüllt werden, ausgenommen für ein Feld, dessen Ausdehnungen gegen den Radius der Kugel verschwindend klein sind. Es ist schon oben angeführt worden, daſs nach dem Listing'schen Gesetze die Ebenen der Drehungsaxen bei verschiedenen Stellungen der Blicklinie auch verschiedene Lagen im Auge haben. Davon hängen nun gewisse Gesichtstäuschungen ab, die am deutlichsten zu beobachten sind an sehr entfernten Objecten, von deren wirklicher Lage man keine Erfahrungen hat, namentlich an den Gestirnen.[2]

Man suche sich am gestirnten Himmel drei hinreichend helle und weit von einander entfernte Sterne, die nahehin in einer geraden horizontalen Linie stehen. Wir wollen voraussetzen, sie schienen in einer geraden Linie
483 zu stehen, wenn man das Gesicht so weit erhebt, daſs die Primärstellung der Gesichtslinien auf den mittleren Stern gerichtet ist. Dann werden dieselben Sterne eine nach unten concave Linie zu bilden scheinen, wenn man ihre Reihe mit dem Blicke durchläuft, während das Gesicht weniger gehoben wird, als vorher, die Augen im Kopfe also mehr; und sie werden wie eine

---

[1] H. v. Helmholtz, *Handbuch der Physiol. Optik*, 1. Aufl. S. 497—516. — Ferner: H. v. Helmholtz, Über die normalen Bewegungen des menschlichen Auges. *Gräfes Arch.* 9 (2), S. 153. — In etwas erweiterter Ausführung abgedruckt in meinen *Wissenschaftlichen Abhandlungen* Bd. 2, S. 396.

[2] Bei dem früher von mir beschriebenen entsprechenden Versuche hat die Convergenz der Augen einen eigenthümlichen Einfluſs, der im nächsten Abschnitte zu besprechen ist.

nach unten convexe Linie erscheinen, wenn das Gesicht mehr erhoben wird als früher und die Augen im Kopfe also gesenkt werden müssen, um nach den drei Sternen zu sehen. Der Grund dieser Täuschungen ist in den Raddrehungen des Auges zu suchen. Blickt man nach dem rechten Ende der Sternreihe, so sind bei gehobenem Blicke die Netzhauthorizonte gegen die Visirlinie so gedreht, dafs ihre rechte Seite gehoben ist. Das rechte Ende der Sternenlinie erscheint dann gesenkt; eben so das linke, wenn man nach dem links gelegenen Sterne blickt, die ganze Linie also als concav nach unten; umgekehrt bei kinnwärts gewendetem Blick.

Oder man vergleiche die Neigung, welche eine Reihe von Sternen, wie zum Beispiel die drei Sterne im Schwanz des grofsen Bären, gegen den Horizont zu haben scheinen, indem man das Gesicht so wendet, dass die Sterne bald mit nach rechts oben, bald mit nach links oben gehobenen Augen betrachtet werden. Man wird finden, dafs bei ersterer Stellung das obere Ende dieser Sternreihe sich scheinbar mehr nach links, im zweiten Falle mehr nach rechts, also immer gegen die Medianebene des Kopfes hin, neigt.

Es handelt sich bei diesen Beispielen nicht um Bestimmung einer absoluten Richtung der Sternreihen im Raume, als senkrecht oder horizontal, da eine solche bei der unbestimmten Form des imaginären Himmelsgewölbes selbst nie eine ganz bestimmte sein kann. Es handelt sich nur darum die Uebereinstimmung oder Nichtübereinstimmung in der Richtung des angeschauten Bildes bei verschiedener Blickrichtung zu constatiren, und es zeigt sich bei diesen Versuchen, dafs wir bei stark peripherischen Stellungen der Augen abweichende Urtheile über die Lage der Gesichtsobjecte im Gesichtsfelde oder auch über die Form des Gesichtsfeldes fällen. Da nun, wie gesagt, in einem ausgedehnten Felde solche Raddrehungen der Augen, die dergleichen Inconsequenzen hervorrufen, nicht ganz vermieden werden können, so kann nur gefordert werden, dafs die Raddrehungen des Auges bei verschiedenen Stellungen der Gesichtslinie so gewählt werden, dafs die Summe aller Fehler in der Orientirung, die aus den Raddrehungen des Auges herfliefsen, möglichst klein werde.

Die vollkommene Erfüllung des zweiten Princips würde fordern, dafs bei allen Stellungen der Blicklinie die Ebene der Drehungsaxen immer dieselbe Lage im Augapfel hätte. Es würde dann nie eine Componente der Drehung vorkommen, deren Axe die Normale zu jener Ebene der Drehungsaxen wäre, welche Normale ich die a t r o p e  L i n i e des Auges zu nennen vorgeschlagen habe. Jede Drehung um diese atrope Linie, deren Lage im Auge zunächst noch unbestimmt bleibt, würde als ein Fehler zu betrachten sein. Die Forderung des zweiten Princips würde also so formulirt werden können, dafs die S u m m e  d i e s e r  F e h l e r q u a d r a t e  f ü r  a l l e  v o r k o m m e n d e n  u n e n d l i c h  k l e i n e n  B e w e g u n g e n  d e s  A u g e s  e i n  M i n i m u m  w e r d e. Die Quadrate der Fehler müssen hier aus denselben 484 Gründen, wie bei den Fehlerausgleichungen nach der Methode der kleinsten Quadrate genommen werden.

Das Resultat der analytischen Behandlung dieses Problems, ist folgendes: Damit die Summe der Fehler am kleinsten werde, mufs die atrope Linie für jede Form des Feldes mit der Blicklinie zusammenfallen; die Vertheilung der Raddrehungen aber hängt im Allgemeinen von der Form des Feldes ab. In einem kreisförmigen Blickfelde würde das Listing'sche Gesetz den Bedingungen der Aufgabe am vollkommensten entsprechen, und zwar mit der Primärstellung im Centrum des kreisförmigen Feldes. In nicht genau, aber annähernd kreisförmigen Feldern würden gegen den Rand hin sich Abweichungen vom Listing'schen Gesetze zeigen müssen, deren Gröfse aber durch den Umstand noch verringert werden kann, dafs solche peripherische Stellen vom Blicke seltener durchlaufen werden, und wir, wie es scheint, auch diejenigen Bewegungsrichtungen des Auges zu vermeiden suchen, die dem Rande des Blickfelds parallel gehen und Scheinbewegungen der Objecte hervorbringen würden.

Es zeigt sich also hierbei, dafs das Listing'sche Gesetz der Augenbewegungen das vortheilhafteste für die Orientirung ist, zunächst für ein einzelnes Auge und für ein kreisförmiges Blickfeld.

Nun sehen wir aber mit zwei Augen, welche bald parallel, bald convergirend gestellt werden. Das Princip der leichtesten Orientirung für Ruhestellungen fordert nur, dafs die Raddrehungen der Augen dieselben seien, sobald dieselben Stellungen beider Augen wieder eintreten, und in der That finden wir kleine Abweichungen der Raddrehung bei Convergenzstellungen von denen bei Parallelstellungen. Es werden aber beim normalen Sehen Parallelstellungen in der Regel nur in denjenigen Theilen des Gesichtsfeldes vorkommen, welche sehr weit entfernte Objecte darzubieten pflegen; das sind die oberen Theile des Feldes.

Im unteren Theile des Blickfeldes finden sich fast ausschliefslich nahe Gegenstände vor; der entfernteste von ihnen ist der Fufsboden. Das gemeinsame Blickfeld meiner beiden Augen bei paralleler Stellung habe ich in *Fig. 207* gezeichnet; *a* ist die Primärstellung des fernsehenden Auges, die Länge des Pfeils, *a c* bezeichnet die entsprechende Entfernung des Auges von der Tafel, auf die das Blickfeld projicirt ist; die Augen befinden sich dabei in Richtung des in *a* errichteten Lothes. Nach unten hin ist das Sehfeld jedes Auges auf der innern Seite eingeengt durch die hervortretende Nase, *b b* der Figur; was vom Nasenrücken noch fixirt werden kann, ist durch Schattirung angedeutet. Dieser untere Theil, welcher von den Doppelbildern
485 der Nase theilweis zugedeckt ist und

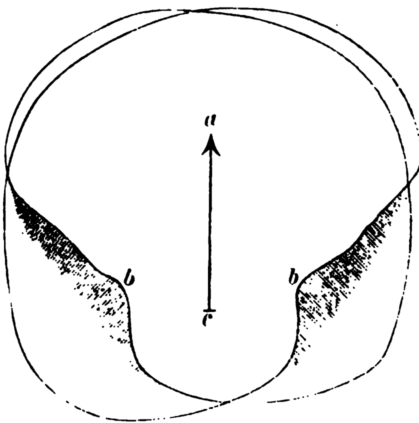


*Fig. 207.*

der zwischen diesen Doppelbildern liegt, kann für parallele Augenstellungen fast gar nicht gebraucht werden, auch sind dieselben hier entschieden schwerer herzustellen, als im oberen Theile des Feldes. Wir können also etwa zwischen *b b* der Figur die Grenze ziehen für das Blickfeld der parallelen Gesichtslinien, dann bleibt für sie ein nahehin kreisförmiges Feld übrig, und ich finde hier in der That das Listing'sche Gesetz gültig, und die Primärstellung *a* in der Mitte dieses Feldes. Übrigens sind die beiden Felder meiner Augen nicht ganz symmetrisch; mein linkes Auge kann weiter nach unten und aufsen sehen als das rechte.

Bei Convergenzstellungen bekommen die Augen zuerst eben wegen der Convergenz eine Richtung nach innen, und zweitens überwiegend nach unten. Im oberen Theil des Blickfeldes kommen verhältnifsmäfsig sehr selten nahe Gegenstände vor, die wir zu betrachten haben, auch sind wir nicht im Stande, die Convergenz dort so weit zu treiben, wie beim Blick nach unten. Daher sind für Convergenzstellungen Abweichungen von dem Bewegungsgesetze der Parallelstellungen in dem Sinne zu erwarten, als ob die Primärstellung für sie tiefer und mehr nach innen liegt, als für die Parallelstellungen; von dieser Art sind in der That die Abweichungen in der oben in *Fig. 203* gegebenen Uebersicht. Die Stärke dieser Abweichungen wird dann wohl von der gewohnheitsmäfsigen Häufigkeit der Convergenzstellungen und ihrer Stärke abhängen müfsen, und bei kurzsichtigen Augen, welche hauptsächlich in Convergenz beobachten, werden sich die Eigenthümlichkeiten solcher Convergenzstellungen auch auf die verhältnifsmäfsig seltner gebrauchten Fernstellungen übertragen können.

Bei dem citirten Versuche, das Gesetz der Augenbewegungen aus den Bedürfnissen des Wahrnehmens herzuleiten, mufste natürlich abstrahirt werden von aller Kenntnifs und Schätzung der Längen und Winkel des scheinbaren Gesichtsfeldes, ja selbst von der Kenntnifs der Anordnung der Netzhautpunkte auf der Netzhaut, weil diese Kenntnisse, wenn man sie nicht als angeboren ansieht, erst durch die Bewegungen des Auges gewonnen werden können. In Wirklichkeit wird beides sich wohl neben einander und gleichzeitig entwickeln müssen, und es soll deshalb die gegebene Ableitung des Drehungsgesetzes nicht als eine genaue Beschreibung des factischen Entwickelungsganges dieses Gesetzes während der ersten Kindheit angesehen werden. Vorläufig kann die empiristische Theorie der Gesichtswahrnehmungen in dieser Beziehung weiter nichts leisten, als nachweisen, dafs in den Gesichtswahrnehmungen und bei den Bewegungen des Auges nichts vorkommt, was nicht durch Erfahrung und zweckmäfsige Einübung unter dem Bestreben, die Objecte der Aufsenwelt möglichst genau und sicher zu erkennen, gewonnen werden könnte. Dabei wird natürlich der Gang dieser Einübung und Erfahrung methodischer und mehr in seine einzelnen Momente zerlegt dargestellt werden müssen, als er in Wirklichkeit in dem bunten Gedränge zufälliger Sinneseindrücke meistentheils vor sich gehen mag.

A. Fick und Wundt haben als regelndes Princip für die Augen-

bewegungen hingestellt, dafs diejenige Raddrehung gewählt werde, bei welcher die gewünschte Richtung der Blicklinie mit der geringsten Muskelanstrengung
486 erreicht werden kann. Ueber die Durchführung dieses Princips wird unten das Nähere angegeben werden. Wahrscheinlich ist dasselbe thatsächlich erfüllt bei den wirklich vorhandenen normalen Augenbewegungen. Indessen glaubte ich mich nicht bei diesem Principe als dem letzten beruhigen zu dürfen, weil willkürliche Anstrengung nachweisbar diejenigen Stellungen des Augapfels herbeiführen kann, welche den Zwecken des Sehens am besten entsprechen, und die Muskeln im Allgemeinen bildsam genug sind, dafs diejenigen, von denen man die gröfsere Anstrengung verlangt, auch bald die stärkeren werden. Indessen ist wohl nicht zu leugnen, dafs wenn der Augenmuskelapparat vieler Generationen hinter einander sich den Bedürfnissen der Individuen angepafst hat und sich seine Anordnung auf die Nachkommen vererbt, für die factische Herbeiführung der zweckmäfsigsten Raddrehungen des Auges der Umstand, dafs sie die leichtesten sind, aufserordentlich günstig einwirken mufs. Die oben angeführten Versuche zeigen aber, dafs die leichtesten Augenbewegungen für die Dauer dann nicht gewählt werden, wenn sie nicht auch gleichzeitig die vortheilhaftesten für das Sehen sind.

Aehnliche Gesetze wie für die Bewegungen der Augen gelten auch für die des Kopfes. Es hat schon Aubert bemerkt, wenn man den Kopf plötzlich nach einer Seite neigt, während man einen festen Punkt einer geraden verticalen oder horizontalen Linie fixirt, so dafs ihr Bild auf der Netzhaut eine Drehung erleidet, dafs dann entweder bei der Bewegung des Kopfes eine scheinbare Drehung jener Linie eintritt, oder man wenigstens eine gewisse Unsicherheit fühlt, zu entscheiden, ob eine Drehung eingetreten sei oder nicht.

Die gewöhnlichen Bewegungen des Kopfes geschehen übrigens nach demselben Princip, wie die der Augen. Das Hinterhauptsgelenk besteht aus zwei Gelenken, dem zwischen Hinterhauptsbein und dem ersten Halswirbel oder Atlas, und dem Gelenke zwischen dem Atlas und dem zweiten Halswirbel. Das erste läfst eine Drehung um eine horizontal von rechts nach links gehende Axe, und in geringer Ausdehnung auch eine Drehung um eine horizontal von vorn nach hinten gehende Axe zu; das zweite genannte Gelenk hat nur eine verticale Drehungsaxe, Beide Gelenke zusammen können also mäfsige Drehungen um alle beliebig gelegenen Axen zulassen. Dazu kommt dann noch die Beweglichkeit der Halswirbelsäule. Wenn man die Augen weit nach rechts oder links wenden will, dreht sich der Kopf um eine senkrechte Axe im unteren Gelenke; wenn der Blick gerade nach oben oder unten gewendet wird, dreht sich der Kopf um die horizontal von rechts nach links gehende Drehungsaxe der Gelenkköpfe des Hinterhauptbeins; wenn er aber schräg nach rechts und oben gekehrt wird, so dreht er sich. wie das Auge, um eine von oben rechts nach unten links gehende Axe, so dafs die rechte Seite des Kopfes höher zu stehen kommt, als die linke. Wenn der Blick dagegen nach unten rechts sich wendet. kommt die rechte

Seite des Kopfes tiefer zu stehen. Es sind dies also Drehungen derselben Art, wie sie das Auge ausführt, wenn auch mit gröfserer Freiheit veränderlich, als die des Auges.

Allgemeine geometrische Betrachtung der Drehungen. Man denke sich einen gewöhnlichen Erdglobus, der mit seiner Polaxe drehbar in einem messingenen Ringe befestigt ist; dieser Meridianring möge selbst in Einschnitten des hölzernen Gestells verschoben und endlich das Gestell auf einem horizontalen 487
Tische stehend gedreht werden können, wobei es sich um die Lothlinie als Axe dreht. Eine solche Befestigungsweise reicht hin, um den Globus in alle möglichen Lagen zu versetzen. Der Globus möge den Augapfel darstellen und die Pollinie möge der Blicklinie entsprechen.

Im Anfange möge die Pollinie senkrecht stehen, und der erste Meridian des Globus, der von Ferro, in der Ebene des Ringes stehen. Die verticalen Coordinaten (also der Blicklinie in ihrer Anfangsstellung parallel) nenne ich $x$, die Ebene des ersten Meridians und des Meridianringes sei die Ebene der $xy$, die $y$ Axe also horizontal in der Ebene des Ringes und die $z$ Axe senkrecht darauf. Alle diese Axen sollen durch den Mittelpunkt der Kugel gehen. Da es ganz willkürlich ist, wie wir im Auge die $y$ und $z$ Axe legen, so wollen wir annehmen, die atrope Linie liege in ihrer Anfangslage in der $y$ Ebene. Es vereinfacht sich dadurch die Rechnung sehr merklich, ohne dafs die Allgemeinheit derselben beeinträchtigt wird. In dem Globus, der den Augapfel darstellen soll, würde also die atrope Linie irgend wo im Meridian von Ferro liegen.

Wir denken uns nun vier rechtwinkelige Coordinatensysteme, welche alle in der Anfangslage der Kugel mit einander zusammenfallen. Das erste derselben nennen wir $x\,y\,z$, es sei absolut fest im Raume. Das zweite nennen wir $x_1\,y_1\,z_1$, es sei beweglich zugleich mit dem Gestell des Globus und mit diesem Gestelle fest verbunden; das dritte nennen wir $x_2\,y_2\,z_2$, es sei fest verbunden mit dem messingenen Meridianringe; das vierte endlich nennen wir $\xi\,v\,\zeta$, es sei fest mit der Kugel verbunden.

Wenn das Gestell auf dem Tische gedreht wird, so verschiebt sich das Coordinatsystem der $x_1\,y_1\,z_1$ gegen das der $x\,y\,z$; da aber die $x$ Axe Drehungsaxe ist, so bleibt die $x_1$ Axe zusammenfallend mit der $x$ Axe, und die $y_1\,z_1$ Ebene mit der $y\,z$ Ebene. Folglich ist auch nach der Drehung die Entfernung $x_1$ eines jeden beliebigen Punktes von der $y_1\,z_1$ Ebene ebenso grofs wie seine Entfernung $x$ von der $y\,z$ Ebene. Es sei in *Fig.* 208 die Ebene des Papiers die Ebene der $y\,z$ und $y_1\,z_1$; es sei $OA$ die Axe der $y$, $OH$ die der $z$, $OD$ die der $y_1$, $OE$ die der $z_1$; $C$ sei die Projection des Punktes, dessen Coordinaten gesucht werden. Man fälle von $C$ die Lothe $CA$, $CB$, $CD$, $CE$ beziehlich auf die vier Coordinataxen, und endlich noch vom Punkte $E$ die Lothe $EG$ und $EH$ auf $OA$ und $OB$, deren Schnittpunkt wir mit $K$ bezeichnen, so ist

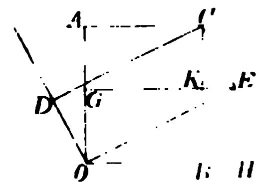


Fig. 208

$$OA = CB = y \qquad OD = CE = y_1$$
$$OB = AC = z \qquad OE = CD = z_1.$$

Den Winkel $EOH$, um den das System der $x_1\,y_1\,z_1$ gegen das der $x\,y\,z$ gedreht ist, nennen wir $\vartheta$.

$$y = OA = OG + GA = OG + KC.$$

Da nun der Winkel $GEO = ECK = EOH = \vartheta$ ist, so ist

$$OG = OE \sin(GEO) = z_1 \sin\vartheta$$

$$KC = CE \cos(ECK) = y_1 \cos\vartheta,$$

folglich

$$y = y_1 \cos\vartheta + z_1 \sin\vartheta$$

488 und ebenso

$$z = OB = OH - KE$$

$$OH = OE \cos(EOH) = z_1 \cos\vartheta$$

$$KE = EC \sin(ECK) = y_1 \sin\vartheta,$$

also

$$z = z_1 \cos\vartheta - y_1 \sin\vartheta.$$

Wir haben also für die Coordinaten $xyz$ des durch die $x_1 y_1 z_1$ gegebenen Punktes nach der Drehung folgende Werthe:

$$\left.\begin{aligned} x &= x_1 \\ y &= y_1 \cos\vartheta + z_1 \sin\vartheta \\ z &= -y_1 \sin\vartheta + z_1 \cos\vartheta \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots 1).$$

Wenn ferner der Messingring des Globus in dem Gestelle gedreht wird, so ändert sich die Lage des Systems der $x_2 y_2 z_2$ gegen das der $x_1 y_1 z_1$, wobei die $x_2 y_2$ Ebene aber mit der $x_1 y_1$ Ebene in Congruenz bleibt, und also auch die $z_2$ Axe mit der $z_1$ Axe. Der Drehungswinkel sei $\alpha$, die Werthe der Coordinaten $x_1 y_1 z_1$ findet man ausgedrückt in den Werthen der $x_2 y_2 z_2$ ähnlich wie vorher

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= x_2 \cos\alpha - y_2 \sin\alpha \\ y_1 &= x_2 \sin\alpha + y_2 \cos\alpha \\ z_1 &= z_2 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots 1a).$$

Endlich drehe man den Globus um seine Polaxe, dabei verschiebt sich das System der $\xi v \zeta$ gegen das der $x_2 y_2 z_2$, während die $\xi$ und die $x_2$ Axe, als Drehungsaxe, congruent bleiben. Die Werthe der $x_2 y_2 z_2$ sind, wenn der Drehungswinkel mit $\omega$ bezeichnet wird.

$$\left.\begin{aligned} x_2 &= \xi \\ y_2 &= v \cos\omega + \zeta \sin\omega \\ z_2 &= -v \sin\omega + \zeta \cos\omega \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots 1b).$$

Nun setze man die Werthe von $x_1 y_1 z_1$ aus 1a) in die Gleichungen 1); man erhält

$$x = x_2 \cos\alpha - y_2 \sin\alpha$$

$$y = x_2 \sin\alpha \cos\vartheta + y_2 \cos\alpha \cos\vartheta + z_1 \sin\vartheta$$

$$z = -x_2 \sin\alpha \sin\vartheta - y_2 \cos\alpha \sin\vartheta + z_2 \cos\vartheta.$$

In diese Gleichungen endlich setze man für $x_2 y_2 z_2$ deren Werthe aus den Gleichungen 1b). Man erhält

$$\left.\begin{aligned} x &= \xi \cos\alpha - v \cos\omega \sin\alpha - \zeta \sin\omega \sin\alpha \\ y &= \xi \sin\alpha \cos\vartheta + v (\cos\alpha \cos\vartheta \cos\omega - \sin\vartheta \sin\omega) \\ &\qquad + \zeta (\cos\alpha \cos\vartheta \sin\omega + \sin\vartheta \cos\omega) \\ z &= - \xi \sin\alpha \sin\vartheta - v (\cos\alpha \sin\vartheta \cos\omega + \cos\vartheta \sin\omega) \\ &\qquad - \zeta (\cos\alpha \sin\vartheta \sin\omega - \cos\vartheta \cos\omega) \end{aligned}\right\} \ldots\ldots 1\,c).$$

ch sind die Raum-Coordinaten $xyz$ jedes Punktes gegeben, der durch seine naten $\xi v \zeta$ auf oder in der Kugel gegeben ist.

estimmen wir zunächst die Lage der Polaxe, welche der Blicklinie des Auges 489
chen soll; sie ist die Axe der $\xi$, für ihre Punkte ist $v = \zeta = 0$. Daraus ann für einen Punkt der Polaxe, welcher um $\xi$ vom Drehpunkte entfernt ist

$$x = \xi \cos\alpha$$

$$y = \xi \sin\alpha \cos\vartheta$$

$$z = - \xi \sin\alpha \sin\vartheta.$$

inkel zwischen der Polaxe und ihrer Anfangsstellung ist also $\alpha$, und die ion der Polaxe auf die Horizontalebene ist $\xi \sin\alpha$, welche mit der $xy$ Ebene inkel $\vartheta$ macht. Diese Projection ist nun aber die Schnittlinie einer durch rticale $x$ Axe und die Polaxe $\xi$ gelegten Ebene mit der Horizontalebene. agen wir diese Verhältnisse auf das Auge, so ist

der Winkel zwischen der ersten und zweiten Lage der Blicklinie,

der Winkel, den eine durch die erste und zweite Lage gelegte Ebene mit der ursprünglichen $xy$ Ebene bildet.

beide Winkel ist die Richtung der Blicklinie gegeben.

m nun noch den Sinn des Winkels $\omega$ für die Verhältnisse am Auge an- ch zu machen, wollen wir fragen, wie mufs der Winkel $\omega$ gewählt werden, sich das Auge nach dem Gesetze von LISTING bewegt, und die Anfangslage, $xyz$ mit den $\xi v \zeta$ zusammenfallen, seine Primärlage ist. Dann müfste nach Gesetze die neue Stellung die gleiche sein, als wäre das Auge durch g um eine in der $v\zeta$ und $yz$ Ebene liegende Drehungsaxe in die neue Lage uhrt worden. Da die Punkte der Drehungsaxe unveränderte Lage behalten, für sie auch nach der Drehung

$$x = \xi \qquad y = v \qquad z = \zeta \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2)$$

Durch diese drei Bedingungen können wir in allen Fällen die Lage der gsaxe finden. Da der Forderung des LISTING'schen Gesetzes gemäfs die gsaxe in der $v\zeta$ Ebene liegen, das heifst für ihre Punkte $\xi = 0$ sein soll, alten wir aus den Gleichungen 1 c) nach Einsetzung dieser Werthe

$$v \cos\omega \sin\alpha \quad \zeta \sin\omega \sin\alpha$$

$$(\cos\alpha \cos\vartheta \cos\omega - \sin\vartheta \sin\omega) + \zeta (\cos\alpha \cos\vartheta \sin\omega + \sin\vartheta \cos\omega)$$

$$- v (\cos\alpha \sin\vartheta \cos\omega + \cos\vartheta \sin\omega) - \zeta (\cos\alpha \sin\vartheta \sin\omega - \cos\vartheta \cos\omega).$$

Aus der ersten Gleichung folgt:

$$v \cos \omega + \zeta \sin \omega = 0,$$

was erfüllt wird, wenn wir setzen

$$v = h \sin \omega, \qquad \zeta = -h \cos \omega,$$

worin $h$ eine willkürliche Gröfse bedeutet. Dadurch reduciren sich die bei andern Gleichungen auf die Bedingungen

$$\sin \omega = -\sin \vartheta$$

$$-\cos \omega = -\cos \vartheta,$$

die zu erfüllen sind durch die Annahme

$$\omega = -\vartheta \text{ .......................2}$$

490 Dies ist also die Bedingung, dafs die durch die Gleichungen 1 c) gegebenen Drehun dem LISTING'schen Gesetze folgen. Dann werden die Werthe $x$, $y$, $z$

$$\left.\begin{aligned} x &= \xi \cos \alpha - v \cos \vartheta \sin \alpha + \zeta \sin \vartheta \sin \alpha \\ y &= \xi \sin \alpha \cos \vartheta + v (\cos \alpha \cos^2 \vartheta + \sin^2 \vartheta) \\ &\quad + \zeta (1 - \cos \alpha) \sin \vartheta \cos \vartheta \\ z &= -\xi \sin \alpha \sin \vartheta - v (\cos \alpha - 1) \sin \vartheta \cos \vartheta \\ &\quad + \zeta (\cos \alpha \sin^2 \vartheta + \cos^2 \vartheta) \end{aligned}\right\} \text{ .........2}$$

Zu bemerken ist noch, dafs überhaupt, auch abgesehen von LISTING's Gesetz, Summe $\omega + \vartheta$ für sehr kleine Werthe von $\alpha$ jedenfalls verschwindend klein wer mufs, wenn nicht Verschiebungen der Blicklinie um unendlich kleine Werthe vo endliche Lagenveränderungen des Auges ergeben sollen.

In den Gleichungen 2 b) ist $x$ die Entfernung des Punktes, dessen Coordin hier gegeben sind, von der $yz$ Ebene; $\xi$ ist die Entfernnng desselben Punktes der $v\zeta$ Ebene. Beide sind positiv genommen, wenn sie vor der Vorderseite di Ebenen liegen. Setzt man nun

$$x = -\xi \qquad \text{oder} \qquad x + \xi = 0 \text{ ............ :}$$

so ist dies die Gleichung aller der Punkte, die gleichweit von der Vorderseite Ebene $x = 0$ und von der Hinterseite Ebene $\xi = 0$ abstehen. Diese Eigensc kommt aber den Punkten derjenigen Ebene zu, welche den Winkel $\vartheta$, den Ebenen $x = 0$ und $\xi = 0$ mit einander machen, halbirt. Die Gleichung 2 c) also die Gleichung dieser Halbirungsebene. Diese Gleichung wird, wenn man Werth von $x$ aus 2 b) entnimmt

$$0 = \xi (1 + \cos \alpha) - v \cos \vartheta \sin \alpha + \zeta \sin \vartheta \sin \alpha \text{ ....... :}$$

Indem wir diese Gleichung mit dem Factor

$$\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

multipliciren, erhalten wir

$$0 = \xi \sin \alpha - v \cos \vartheta (1 - \cos \alpha) + \zeta \sin \vartheta (1 - \cos \alpha) \text{ .......}$$

Multipliciren wir diese letztere mit $\cos\vartheta$, so erhalten wir

$$0 = \xi \sin\alpha \cos\vartheta + v\,(\cos\alpha \cos^2\vartheta - \cos^2\vartheta) + \zeta \cos\vartheta \sin\vartheta\,(1 - \cos\alpha).$$

Bei der Vergleichung mit dem Werthe von $y$ in 2b) zeigt sich, dafs diese identisch ist mit

$$v = y.$$

Eine entsprechende Gleichung, welche man durch Multiplication von 2e) mit $\sin\vartheta$ erhält, ist identisch mit

$$\zeta = z.$$

Für die Punkte der Halbirungsebene des Winkels $\vartheta$, den die Ebenen $x = 0$ und $\xi = 0$ mit einander machen, ist also

$$x = -\xi, \qquad y = v, \qquad z = \zeta \;\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2f).$$

Nehmen wir nun eine zweite Stellung des Bulbus, für die wir die Werthe von $x$, $y$, $z$, $\alpha$, $\vartheta$ beziehlich mit $x_0$, $y_0$, $z_0$, $\alpha_0$, $\vartheta_0$ bezeichnen, so ist für die Halbirungsebene des Winkels $\vartheta_0$, welchen die Ebenen $x_0 = 0$ und $\xi = 0$ mit einander machen, ebenfalls 491

$$x_0 = -\xi, \qquad y_0 = v, \qquad z_0 = \zeta.$$

Wenn also der Punkt $\xi\, v\, \zeta$ gleichzeitig beiden Halbirungsebenen angehört, das heifst in deren Schnittlinie liegt, so ist für ihn

$$x = x_0, \qquad y = y_0, \qquad z = z_0.$$

Die Punkte der genannten Schnittlinie haben also dieselbe Lage im Raume bei der ersten wie bei der zweiten Stellung des Auges, und daraus folgt, dafs, wenn man das Auge aus der ersten in die zweite Stellung durch Drehung um eine constante Axe überführen will, die genannte Schnittlinie der Halbirungsebenen dabei als Axe zu benutzen ist. Die Lage dieser Axe ist gegeben durch die Gleichung 2b) und die analoge Gleichung für die zweite Stellung

$$x + \xi = 0 \text{ und } x_0 + \xi = 0.$$

Der Winkel, durch den der Bulbus um die resultirende Drehungsaxe hierbei gedreht werden mufs, um die erste Stellung in die zweite überzuführen, ist doppelt so grofs, als der Winkel, unter dem sich die genannten beiden Halbirungsebenen $x + \xi = 0$ und $x_0 + \xi = 0$ gegenseitig schneiden.

Die hier gegebene Regel, nach welcher das Resultat zweier auf einander folgender Drehungen auf eine einzige Drehung reducirt wird, kann ganz unabhängig vom LISTING'schen Gesetze auf jeden Körper übertragen werden, der sich um einen Punkt dreht. Wenn ein solcher Körper nach einander um zwei verschiedene Axen gedreht wird, und man kennt die Lage beider Axen, die sie haben, während die Drehung um sie geschieht, oder, was dasselbe ist, die sie haben nach der ersten Drehung und vor der zweiten Drehung, so lege man durch beide Axen eine Ebene, welche $A$ heifsen mag, und construire die Lage dieser Ebene, welche sie hat vor der ersten Drehung, $A_0$, und diejenige, welche sie hat nach der zweiten Drehung, $A_1$. Da die Drehungsaxen die Schnittlinien von $A_0$ und $A$,

so wie von $A_1$ und $A$ sind, so ist dies ohne Schwierigkeit auszuführen, sobald man die Gröfse der Drehungswinkel kennt, welches die Winkel $A_0 A$ und $A_1 A$ sind. Man construire die Halbirungsebenen beider Winkel: deren Schnittlinie ist die resultirende Drehungsaxe, der doppelte Werth des Winkels, unter dem sich die beiden Halbirungsebenen schneiden (gleichgültig welchen von den beiden Winkeln man nimmt), ist der Drehungswinkel.

Wenn die Drehungen unendlich klein sind, so liegt die resultirende Drehungsaxe unendlich wenig von der Ebene entfernt, welche die beiden anderen Axen enthält, und fällt im Grenzfalle mit der Diagonale des Parallelogramms zusammen, dessen zwei Seiten der Richtung nach mit den beiden Drehungsaxen zusammenfallen und eine der Gröfse der Drehungswinkel proportionale Länge haben.

Wir kehren zurück zu den Folgerungen aus dem LISTING'schen Gesetze für die Bewegungen des Bulbus. Da die Drehungsaxe, um welche das Auge zu drehen ist, um es aus der Stellung der Gleichungen 2b) überzuführen in irgend eine andere Stellung mit den Coordinaten $x_0$, $y_0$, $z_0$, jedenfalls in der Ebene $x + \mathfrak{x} = 0$ liegt, welches auch die zweite Stellung sei, so folgt, dafs jedes Mal, wo man von einer bestimmten Anfangsstellung des Bulbus in beliebige andere Stellungen durch Drehung um feste Axen übergehen will, diese Drehungsaxen alle in einer gewissen Ebene liegen müssen, deren Lage nur von der Anfangsstellung abhängt, nicht von der zu
402 erreichenden Stellung, und dafs ferner jede Drehung von beliebiger Gröfse um eine der in der genannten Ebene liegenden Axen das Auge aus der zugehörigen Anfangsstellung immer wieder in neue Stellungen überführt, die dem LISTING'schen Gesetze entsprechen.

Die Primärstellung der Blicklinie ist also nur dadurch ausgezeichnet, dafs die zugehörige Ebene der Drehungsaxen auf der Blicklinie senkrecht steht.

Die Lage der Normale auf der Ebene der Drehungsaxen für irgend eine Lage der Blicklinie findet man also, wenn man den Winkel zwischen der zeitigen Lage der Blicklinie und ihrer Primärstellung halbirt. Man kann diese Normale die *zeitige atrope Linie* für die betreffende Augenstellung nennen.

Bei jeder fortgesetzten Drehung um eine Axe, welche das Auge in Übereinstimmung mit dem LISTING'schen Gesetze ausführt, wird die zeitweilige atrope Linie der Anfangsstellung einen gröfsten Kreis auf dem kugeligen Blickfelde beschreiben, weil sie senkrecht zur Drehungsaxe im Drehpunkte steht. Die Blicklinie aber, welche im Allgemeinen nicht senkrecht zur Drehungsaxe, wird keinen gröfsten Kreis, sondern einen Parallelkreis zum gröfsten Kreise der relativ atropen Linie ihrer Anfangsstellung beschreiben.

Es sei in *Fig. 209* $O$ der Drehpunkt des Auges, $AO$ die Primärstellung der Blicklinie, $OB$ eine zweite Stellung derselben. Der Kreis $ACBDF$ stelle den Durchschnitt des kugelig gedachten Blickfeldes vor. Der Winkel $AOB$ werde halbirt durch $GOC$, so ist $GOC$ die atrope Linie für die Stellung der Blicklinie in $OB$, und wenn $OD$ ein Loth zu $OC$ ist, so würde eine senkrecht zur Ebene der Zeichnung durch $OD$ gelegte Ebene die Ebene der Drehungsaxen für $OB$ sein. Nun ist leicht zu sehen, dafs, wenn wir $AO$ bis $F$ verlängern, die Winkel $BOD$ und $FOD$ gleich

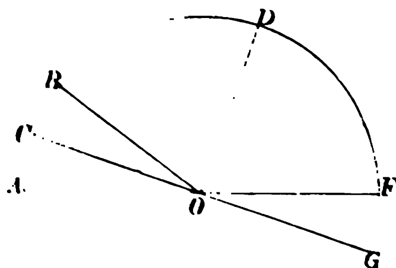


Fig. 209.

d, da sie die Complemente der gleichen Winkel $BOC$ und $GOF$ sind. Daraus folgt iter, dafs, wenn $OE$ irgend eine andere Axe in der durch $OD$ gelegten Ebene · Drehungsaxen ist, auch der Winkel $BOE$ und $FOE$ gleich sein müssen.

Wenn man also den Bulbus um die Axe $OE$ ganz herumdrehen könnte, würde Linie $OB$ auch in die Lage $OF$ kommen müssen. Folglich müssen auch die eise, welche die Blicklinie, ausgehend von der Stellung $OB$, bei der Drehung eine feste Axe dem LISTING'schen Gesetze gemäfs im kugeligen Blickfelde chreibt, alle durch den Punkt $F$ gehen. Die Lage des Punktes $F$ ist aber ganz ıbhängig von der Lage von $OB$, nur abhängig von der Primärstellung $OA$. r können ihn den Occipitalpunkt des Blickfeldes nennen. Daraus folgt:

Alle Kreisbögen, welche die Blicklinie bei der Drehung um eine feste Axe dem LISTING'schen Gesetze gemäfs im kugeligen Blickfelde beschreibt, gehen verlängert durch den Occipitalpunkt des Blickfeldes.

l umgekehrt:

Wenn die Blicklinie dem LISTING'schen Gesetze entsprechend einen Kreisbogen im kugeligen Blickfelde beschreibt, der durch den Occipitalpunkt des Blickfeldes geht, so dreht sie sich dabei um eine festbleibende Axe, die senkrecht zur Ebene des betreffenden Kreises ist.

Wir wollen diese Kreise des kugeligen Blickfeldes, welche durch den cipitalpunkt gehen, Directionskreise nennen. Ihre Wichtigkeit für die 493
entirung wird sich noch in den nächsten Abschnitten mehr zeigen. Die ectionskreise sind also gröfste Kreise des Blickfeldes nur, wenn sie durch die märstellung der Blicklinie gehen, deren Ort im Blickfelde wir den Hauptblicknkt nennen können.

Es ergiebt sich ferner leicht, dafs, wenn ein linienförmiges Nachbild im Auge wickelt ist, welches sich in das Blickfeld auf einen Directionskreis der betreffenden llung der Blicklinie projicirt, und das Auge in Richtung dieses Directionskreises vegt wird, das Nachbild seine scheinbare Lage in diesem Directionskreise behalten l sich nur in Richtung seiner eigenen Länge verschieben wird; und wenn Nachbild entwickelt ist, welches in dem Blickpunkt einen der betreffenden ectionskreise senkrecht schneidet, dass es bei der Bewegung des Blicks in diesem ectionskreise senkrecht zu demselben bleiben wird.

Endlich ist auch leicht einzusehen, dafs das Nachbild congruiren wird mit der htung aller derjenigen Directionskreise, die im Occipitalpunkt die gleiche Tangente demjenigen haben, mit dem es zuerst congruirte.

Die Gleichung der Directionskreise, welche durch eine bestimmte Stellung der klinie hindurchgehen, z. B. durch die in den Gleichungen 2b) gegebene, ergiebt ı leicht aus der Bedingung, dafs sie durch eine Ebene, welche durch den ipitalpunkt geht, aus dem kugelförmigen Blickfelde ausgeschnitten werden, dessen telpunkt der Drehpunkt des Auges, der Anfangspunkt unserer Coordinaten ist. sei also die Gleichung des kugelförmig gedachten Blickfeldes

$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3).$$

allgemeine Gleichung einer Ebene ist

$$ax + by + cz = 1.$$

Die Coordinaten des Occipitalpunktes sind

$$x = -R, \qquad y = 0, \qquad z = 0.$$

Diese in die Gleichung der Ebene gesetzt, müssen dieser genügen, also

$$-aR = A.$$

Dadurch ist die unbekannte Gröfse $A$ bestimmt, und die Gleichung einer beliebigen Ebene, die durch den Occipitalpunkt geht, wird also

$$ax + by + cz = -aR \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3a).$$

Die beiden Gleichungen 3) und 3a) sind also die Gleichungen eines beliebigen Directionskreises.

Schreiben wir diese beiden Gleichungen wie folgt:

$$x^2\left(1 + \frac{y^2}{x^2} + \frac{z^2}{x^2}\right) = R^2$$

$$x^2\left(1 + \frac{b}{a}\frac{y}{x} + \frac{c}{a}\frac{z}{x}\right)^2 = R^2$$

und dividiren sie durch einander, so erhalten wir

$$1 + \frac{y^2}{x^2} + \frac{z^2}{x^2} = \left(1 + \frac{b}{a}\frac{y}{x} + \frac{c}{a}\frac{z}{x}\right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3b)$$

494 Dies ist die Gleichung eines Kegels, dessen Spitze im Anfangspunkt der Coordinaten liegt, und der durch den Directionskreis hindurchgeht. Das letztere ist der Fall, weil wir die Gleichung 3b) aus den Gleichungen 3) und 3a) abgeleitet haben, in denen $x$, $y$, $z$ die Coordinaten eines beliebigen Punktes des Directionskreises bezeichnen, und ein Kegel ist die in 3b) gegegebene Fläche, weil die Gleichung 3b), wenn sie erfüllt wird durch die Coordinaten eines Punktes $x$, $y$, $z$, auch erfüllt wird durch die Coordinaten aller derjenigen Punkte, für welche die Verhältnisse $\frac{y}{x}$ und $\frac{z}{x}$ dieselben Werthe haben.

Wenn aber $\frac{y}{x} = C_0$ und $\frac{z}{x} = C_1$ gesetzt werden, so sind dies die Gleichungen einer geraden Linie, die durch den Mittelpunkt der Coordinaten geht. Da also alle Punkte einer geraden Linie, die durch den Mittelpunkt der Coordinaten und durch einen Punkt der Fläche 3b) geht, ganz in dieser Fläche liegen, so ist diese Fläche eine Kegelfläche.

Die geraden Linien, die in der Oberfläche dieses Kegels zu ziehen sind, sind die Richtungen, welche die Blicklinie annimmt, wenn sie den betreffenden Directionskreis durchläuft.

Wenn ein linienförmiges Nachbild in Richtung eines Directionskreises entworfen wird, so bleibt, wie wir hervorgehoben haben, das Nachbild in dem Directionskreise liegen, wenn das Auge dessen einzelne Punkte durchläuft. Oben haben wir die Nachbilder auf eine Ebene projicirt, die senkrecht zur Primärstellung des Auges war, deren Gleichung also ist

$$x = C.$$

**Setzen wir in 3b) das $x$ constant, so wird 3b) die Gleichung einer Hyperbel, welche die Projection des Directionskreises auf die genannte Ebene ist. Sie ist**

$$0 = (b^2 - a^2)\, y^2 + (c^2 - a^2)\, z^2 + 2bcyz + 2abxy + 2acxz \; \ldots\ldots\ldots \; 3c).$$

**In dieser allgemeinen Form giebt die Gleichung alle Hyperbeln, längs welcher irgend wie gerichtete linienförmige Nachbilder verschoben werden können.**

**Beschränken wir uns dagegen auf solche, welche ursprünglich einer bestimmten Richtung parallel waren, zum Beispiel der $z$ Axe, so ist in der Gleichung des Directionskreises 3a) die Constante $c = 0$ zu setzen, und setzen wir ferner**

$$a = -\sin\frac{\alpha}{2} \qquad b = +\cos\frac{\alpha}{2}$$

**so wird die Gleichung 3c)**

$$0 = y^2 \cos\alpha - z^2 \sin^2\frac{\alpha}{2} - xy \sin\alpha$$

**oder**

$$\cos\alpha \left(y - \frac{1}{2}\, x \,\mathrm{tg}\, \alpha\right)^2 - z^2 \sin^2\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{4}\, x^2 \cos\alpha \,\mathrm{tg}^2 \alpha.$$

**Setzt man**

$$\frac{1}{2}\, x \,\mathrm{tang}\, \alpha = f$$

**und**

$$x \sqrt{\frac{\mathrm{tang}\, \alpha}{2\, \mathrm{tang}\, \frac{\alpha}{2}}} = g,$$ 495

**so wird die Gleichung der Hyperbel**

$$\frac{(y - f)^2}{f^2} - \frac{z^2}{g^2} = 1.$$

**Es ist also $f$ die reelle Axe, $g$ die imaginäre, und der Mittelpunkt der Hyperbel um die Länge der reellen Axe von der Linie $z = 0$ entfernt. Der eine Scheitel aller dieser Hyperbeln liegt in der $x$ Axe, im Punkte $z = 0$, $y = 0$, aber diejenigen Zweige der Hyperbeln, welche durch diesen Punkt gehen, sind keine optischen Projectionen des betreffenden Directionskreises. Sie sind vielmehr nur geometrische Projectionen der hinteren nicht sichtbaren Hälfte des Directionskreises. Hyperbeln dieser Art sind oben construirt in *Fig. 200*.**

**Es bleibt noch übrig, die Drehung zu bestimmen, welche nach dem LISTING'schen Gesetze das Auge in Beziehung auf die Visirebene erleidet. Es sei die Ebene $\zeta = 0$ der Netzhauthorizont des Auges, und $z = 0$ also seine Primärstellung und gleichzeitig die Primärstellung der Visirebene. Die $y$ Axe ist dann die Linie, welche die Drehpunkte beider Augen verbindet. Die Visirebene mufs also immer durch die $y$ Axe gehen. Die allgemeine Gleichung solcher Ebenen ist**

$$ax + bz = 0.$$

Für die Blicklinie ist $v = \zeta = 0$, also nach 2b)

$$x = \xi \cos\alpha, \qquad y = \xi \sin\alpha \cos\vartheta, \qquad z = -\xi \sin\alpha \sin\vartheta$$

und da die Blicklinie in der Visirebene liegen mufs, folgt, dafs diese Werthe von $x$ und $z$ der allgemeinen Gleichung der Visirebene genügen müssen, also

$$a\xi \cos\alpha - b\xi \sin\alpha \sin\vartheta = 0.$$

Dem genügen wir, wenn wir setzen

$$a = \sin\alpha \sin\vartheta, \qquad b = \cos\alpha.$$

Die Gleichung der Visirebene wird also

$$x \sin\alpha \sin\vartheta + z \cos\alpha = 0$$

oder wenn wir die Werthe aus 2b) einsetzen

$$0 = v \cos\vartheta \sin\vartheta\, (1 - \cos\alpha) - \zeta\, (\sin^2\vartheta + \cos\alpha \cos^2\vartheta) \ldots\ldots . 4).$$

Wenn die Gleichungen zweier Ebenen sind

$$ax + by + cz + d = 0$$
$$\alpha x + \beta y + \gamma z + \delta = 0,$$

so ist der Winkel $k$, den sie mit einander machen, bekanntlich

$$\cos k = \frac{a\alpha + b\beta + c\gamma}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}\,\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}}.$$

496 Daraus folgt, dafs der Winkel, den die Visirebene der Gleichung 4) mit dem Netzhauthorizont macht, dessen Gleichung ist

$$0 = \zeta \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots . 4a).$$

gegeben wird durch die Gleichung

$$\cos k = -\frac{\sin^2\vartheta + \cos\alpha \,.\, \cos^2\vartheta}{\sqrt{\sin^2\vartheta + \cos^2\alpha \cos^2\vartheta}}$$

oder

$$\operatorname{tang} k = \frac{\cos\vartheta \sin\vartheta\, (1 - \cos\alpha)}{\sin^2\vartheta + \cos\alpha \cos^2\vartheta} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots . 4b.$$

Der Winkel $k$, welcher zwischen der zeitigen Lage des Netzhauthorizonts und der Visirebene liegt, ist hierdurch gegeben.

Der Winkel $k'$ zwischen der Ebene des ursprünglich senkrechten Meridians $v = 0$ und einer durch die senkrechte $z$ Axe und die Blicklinie gelegten Ebene

$$x \sin\alpha \cos\vartheta - y \cos\alpha = 0$$

wird in ähnlicher Weise gefunden

$$\operatorname{cotg} k' = \frac{\cos\vartheta \sin\vartheta\, (1 - \cos\alpha)}{\cos^2\vartheta + \sin^2\vartheta \cos\alpha} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots . 4c).$$

n sind häufig nicht die Winkel $\alpha$ und $\vartheta$ zur Abmessung der Stellung der e gebraucht worden, sondern entweder der Erhebungswinkel $\lambda$ und wendungswinkel $\mu$, wie sie oben definirt wurden, oder die Winkel, FICK die *Longitudo* und *Latitudo* genannt hat, die mit $l$ und $m$ bezeichnet mögen. Diese sind noch in die Formeln 4b) und 4c) einzuführen, um sie echnung so ausgeführter Versuche geschickt zu machen.

r Erhebungswinkel $\lambda$ ist der Winkel zwischen der Visirebene

$$x \sin\alpha \sin\vartheta + z \cos\alpha = 0$$

Ebene $z = 0$, seine Tangente ist hiernach

$$\operatorname{tang}\lambda = \frac{z}{x} = -\operatorname{tang}\alpha \sin\vartheta.$$

r Seitenwendungswinkel ist gleich dem Winkel zwischen der Äquatorial- es Auges $\xi = 0$ und der Ebene, welche durch die $y$ Axe senkrecht zur ıe geht

$$x \cos\alpha - z \sin\alpha \sin\vartheta = 0$$

:h Substitution der Werthe aus 2b)

$$= \xi\,[\cos^2\alpha + \sin^2\alpha \sin^2\vartheta] - v \sin\alpha \cos\vartheta\,[\sin^2\vartheta + \cos\alpha \cos^2\vartheta]$$

$$+ \zeta \sin\alpha \sin\vartheta \cos^2\vartheta\,[\cos\alpha - 1],$$

nach denselben Regeln wie oben folgt, dafs der Winkel $\mu$ zwischen dieser nd der Ebene $\xi = 0$, sei

$$\cos\mu = \sqrt{\cos^2\alpha + \sin^2\alpha \sin^2\vartheta}.$$

Bestimmung von $\alpha$ und $\vartheta$ hat man also die beiden Gleichungen 497

$$\operatorname{tang}\lambda = -\operatorname{tang}\alpha \sin\vartheta$$

$$\cos^2\mu = \cos^2\alpha + \sin^2\alpha \sin^2\vartheta,$$

olgt

$$\cos\alpha = \cos\mu \cos\lambda$$

$$\sin\vartheta = \mp \frac{\cos\mu \sin\lambda}{\sqrt{1 - \cos^2\mu \cos^2\lambda}}$$

$$\operatorname{tang}\vartheta = \sin\lambda \operatorname{cotang}\mu.$$

ir diese Werthe in 4b) und 4c) setzen, erhalten wir

$$\operatorname{tang} k = -\frac{\sin\mu \sin\lambda}{\cos\mu + \cos\lambda} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 4\,\mathrm{d})$$

$$\operatorname{tang} k' = \frac{\sin \mu \cos \mu \sin \lambda \,(1 - \cos \mu \cos \lambda)}{\sin^2 \mu + \cos^3 \mu \sin^2 \lambda \cos \lambda}.$$

Nach einer ähnlichen Methode findet man

$$\operatorname{tang} k = - \frac{\sin m \cos m \sin l \,(1 - \cos m \cos l)}{\sin^2 m + \cos^3 m \sin^2 l \cos l}$$

$$\operatorname{tang} k' = \frac{\sin m \sin l}{\cos m + \cos l} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 4\,\mathrm{e}).$$

Wann die hier gebrauchten Winkel positiv, wann negativ zu nehmen sind, ist oben festgesetzt worden.

Wenn man statt der Winkel $k$, $\mu$, $\lambda$ und $k'$, $m$, $l$ ihre Hälften in die Gleichungen 4d) und 4 e) einführt, bekommen diese die zur logarithmischen Rechnung bequemere Gestalt

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tang}\left(\frac{k}{2}\right) &= - \operatorname{tang}\left(\frac{\mu}{2}\right) \cdot \operatorname{tang}\left(\frac{\lambda}{2}\right) \cdots\cdots\cdots \\ \operatorname{tang}\left(\frac{k'}{2}\right) &= \operatorname{tang}\left(\frac{m}{2}\right) \cdot \operatorname{tang}\left(\frac{l}{2}\right) \cdots\cdots\cdots \end{aligned}\right\} 4\,\mathrm{f})$$

516 Bestimmung des Drehpunkts der Augen nach DONDERS.[1] Es wird zuerst der horizontale Durchmesser der Hornhaut mit dem Ophthalmometer bestimmt. Zu dem Ende bringt man unmittelbar über dem Ophthalmometer eine kleine Flamme an, die von der Hornhaut gespiegelt wird, und neben dem Ophthalmometer ein horizontal verschiebbares Gesichtszeichen, welches von dem beobachteten Auge fixirt wird. Dieses Auge wird übrigens von der Seite her durch eine helle Lampe stark beleuchtet, gegen deren Strahlen das Ophthalmometer geschützt ist. Man sucht nun das Ophthalmometer so einzustellen, dafs jedes Doppelbild des Flammenreflexes mit einem Doppelbild je eines seitlichen Hornhautrandes zusammenfällt. Damit dies für beide Bilder des Lichtreflexes zugleich geschehen kann, mufs die Mitte der Hornhaut gerade gegen das Ophthalmometer gekehrt sein. Um dies zu erreichen, mufs man das Gesichtszeichen so lange hin und herschieben, bis der genannten Forderung Genüge geleistet wird. Der Winkel, um den die Platten des Ophthalmometers gedreht sind, entspricht dann der halben Breite der Hornhaut, und ist diese nach den auf S. 13 gegebenen Regeln daraus zu berechnen. Der Winkel, den die nach dem Auge gerichtete Axe des Ophthalmometers und die nach dem Gesichtszeichen gerichtete Blicklinie des Auges mit einander machen, entspricht der Abweichung der Blicklinie von der Axe der Hornhaut.

Um nun den Bogen zu bestimmen, den die Hornhaut beschreiben mufs, um die Länge ihres eigenen queren Durchmessers im Raume zu durchlaufen, wurde vor dem zu untersuchenden Auge ein Ring aufgehängt, in welchem ein feines Haar senkrecht gespannt war. Dann wurde ermittelt, um wieviele Grade (ausgehend von dem Stand, wobei die Hornhautaxe auf das Kreuz des Ophthalmometers gerichtet war) nach beiden Seiten hin visirt werden mufste, damit bei unbeweglich gehaltenem Kopfe nach einander jeder von den Rändern der Hornhaut mit dem Haare zusammenfiel. Die gefundene Anzahl von Graden stellte den Winkel dar, den das Auge hierbei um den Drehpunkt beschrieben hatte. Sehr bald stellte sich heraus, dafs bei normalen Augen dieser Winkel ungefähr 56° betrug. DONDERS begann deshalb später jede Messung damit, ein Visir 28° nach links, ein anderes ebenso weit nach rechts von dem erstgenannten Visir, welches zur

[1] *Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde.* Bd. III, Hft. 3, S. 260—281.

ıstellung des Lichtreflexes auf die Mitte der Hornhaut gedient hatte, aufzustellen. r Kopf wurde so gedreht, dafs bei dem Fixiren des einen seitlichen Visirs der eine nd der Hornhaut mit dem Haar zusammenfiel, und es wurde untersucht, ob beim :iren des zweiten seitlichen Visirs der entgegengesetzte Rand der Hornhaut dem Haar :sprach. Nur selten war dies vollkommen der Fall; aber es stellte sich doch heraus, ein gröfserer oder kleinerer Bogen beschrieben werden mufste. Dem entsprechend rden dann die beiden seitlichen Visire um gleich viel von dem mittleren entfernt, er ihm genähert, bis man endlich ein genaues Zusammenfallen der Ränder der Hornhaut t dem Haare erhielt. Indem man nun schnell einige Male abwechselnd nach dem .en und dem andern Visir sehen liefs, wurde der Einflufs einer etwaigen früheren wegung des Kopfes beseitigt.

Wenn $a$ die halbe Breite der Hornhaut ist, welche man mit dem Ophthalmometer 'unden hat, und $\beta$ der Winkel, um den jedes seitliche Visir, vom beobachteten Auge sehen, vom mittleren absteht, so ist der Abstand des Drehpunkts von der horizontalen 517 ıfsten Sehne der Hornhaut gleich $a \cdot \operatorname{cotang} \beta$.

In vielen Fällen, namentlich bei Kurzsichtigen, war die Beweglichkeit des Auges beschränkt, um die Hornhaut den nothwendigen Raum durchlaufen lassen zu können. diesen Fällen gebrauchte Donders einen mit zwei parallel ausgespannten Drähten, ren gegenseitiger Abstand (3,02 Millimeter) genau bestimmt war, versehenen Ring. : Visire wurden so gestellt, dafs abwechselnd der eine Draht mit dem Innen-, der dere mit dem Aufsenrand der Hornhaut zusammenfiel. Um den durchlaufenen Raum ermitteln, war es dann nur nöthig, den Abstand der Drähte von der zuvor gefundenen eite der Hornhaut abzuziehen, und dieser Werth wurde der ferneren Berechnung zu unde gelegt.

Die Resultate dieser Untersuchungen sind schon oben angegeben.

Prüfung des Drehungsgesetzes der Augen mit Hilfe der Nachbilder. r normalsichtige Augen und für parallele Stellungen von deren Gesichtslinien ist es einfachsten die Versuche vor einer grofsen mit hellgrauer Tapete überzogenen Wand :ustellen, die ein nicht zu scharf gezeichnetes Muster hat, an dem horizontale und ticale Linien hervortreten. Man befestigt in der Höhe der Augen ein horizontales rothes nd, auf dem man sich den Mittelpunkt für die Fixation durch einen schwarzen Punkt :eichnet. Wenn man diesen Punkt kurze Zeit fixirt und dann nach der Tapete hin- :kt, sieht man ein hellgrünes Nachbild des Bandes, und kann leicht erkennen, ob ıselbe den horizontalen Linien des Tapetenmusters parallel läuft, oder von ihrer :htung abweicht.

Um die Richtung der Primärstellung der Blicklinie in Beziehung auf den Kopf zu .ren, benutze ich ein Brettchen, welches ein Visirzeichen trägt und zwischen die Zähne ıommen wird. Es ist in *Fig. 210* in geometrischer Projection abgebildet. Das ettchen $AB$ (43 Centimeter lang, 4 breit) hat bei einen den Zahnreihen entsprechenden bogen- mi :en Ausschnitt, bei $B$ trägt es eine vierkantige zerne Säule, an der ein horizontaler Streif $CC$ steifem Papier mit Klebwachs, und daher leicht schieblich, befestigt ist. Die Ränder des Aus- :nitts $A$ werden auf beiden Seiten mit einem ıbt von heifsem Schellack bedeckt, und wenn ses zu erhärten beginnt, drückt man die beiden nnreihen in den Schellack ab, indem man das ettchen fest zwischen die Zähne nimmt. Ist das rz erkaltet, so ist nachher die Lage des Brettchens ischen den Zahnreihen unverrückbar festgestellt, 1 nach jeder Unterbrechung der Versuche immer der in genau ; unveränderter Weise herzustellen.



*Fig. 210.*

Der Papierstreifen $CC$ wird so lang gemacht,

als die Distanz der Drehpunkte der Augen. Man erkennt dies leicht, wenn man nach einem unendlich entfernten Objecte hinsieht. Dann erscheint der Papierstreifen in einem binocularen Doppelbilde; man macht ihn so lang und dreht ihn so, dafs die einander zugekehrten Enden seiner Doppelbilder gerade auf einander stofsen. Alsdann müssen die spitzen Enden des Streifens von einander um die Entfernung der Drehpunkte (oder eigentlich der Centra der Visirlinien) beider Augen von einander entfernt sein und ihre Verbindungslinie mit der Verbindungslinie der beiden Drehpunkte in einer Ebene liegen.

Wenn man nun die Beobachtungen beginnen will, welche entweder mit beiden oder mit je einem Auge ausgeführt werden können, ist es nöthig, zuerst die Primärstellung der Augen empirisch zu suchen. Dies geschieht, indem man von der gewählten Stellung aus, der Mitte des rothen Streifens gegenüber an der andern Seite des Zimmers, die Mitte des rothen Streifens eine Zeitlang fest fixirt, an dem entsprechenden Ende des Streifens *C C* vorbeiblickend, und dann sein Nachbild entweder gerade nach oben und unten, oder horizontal nach rechts und links verschiebt, und bemerkt, ob dasselbe den horizontalen Linien der Tapete parallel bleibt oder nicht. Ist das letztere der Fall, so
518 mufs man den Papierstreifen des Visirbrettchens verschieben, bis man die richtige Stellung desselben gefunden hat. Und zwar mufs man den Papierstreifen weiter nach links schieben, wenn man nach oben blickend das linke Ende des Nachbildes höher, nach unten blickend dasselbe tiefer stehend findet. Findet man nach oben blickend dagegen das rechte Ende des Nachbildes höher, nach unten blickend dasselbe tiefer, so verschiebt man nach rechts. Man verschiebe den Streifen dagegen nach oben, wenn man nach links blickend das linke, nach rechts blickend das rechte Ende des Nachbildes tiefer stehend findet, und umgekehrt.

Hat man endlich für jedes Auge die Stellung des Visirzeichens gefunden, wobei das Auge in die Primärstellung kommt, so ist dadurch zunächst constatirt, dafs es eine Lage des Auges giebt, von der aus sich der Blick horizontal fortbewegt durch Drehung um eine verticale Axe und vertical durch Drehung um eine horizontale Axe.

Während aber bei der Verschiebung des Blicks gerade nach oben oder gerade nach unten, und gerade nach rechts oder links die Nachbilder horizontaler und verticaler Urbilder horizontal und vertical bleiben, findet man, dafs dies nicht gilt für die Verschiebung des Blicks schräg nach aufwärts oder abwärts. Man findet vielmehr, dafs

1) bei der Richtung des Blicks nach rechts oben oder links unten
   das Nachbild einer Horizontallinie gegen die Linien der Wand links gedreht,
   das Nachbild einer Verticallinie rechts gedreht erscheint, und
2) bei der Richtung des Blicks nach links oben oder rechts unten
   das Nachbild einer Horizontallinie rechts gedreht,
   das einer Verticallinie links gedreht erscheint.

Da horizontale und verticale Linien verschiedene Drehung zeigen, so ergiebt sich daraus schon, dafs zwischen ihnen Linien existiren müssen, deren Nachbilder der ursprünglichen Richtung parallel sind.

Am einfachsten ist es nun, den Kopf so seitwärts zu neigen, dafs man zur Durchlaufung der horizontalen und verticalen Linien der Wand schräge Bewegungen des Auges zum Kopfe auszuführen hat. Dadurch dafs man auch bei solcher Kopfstellung an dem Visirzeichen vorbei nach dem Mittelpunkt des rothen Streifens blickt, sichert man sich, dafs man wieder als Anfangstellung die Primärstellung des Auges einhält. Die Richtung, in welcher sich die Bilder der beiden Spitzen des als Visirzeichen dienenden Papierstreifens auf die Wand projiciren, bezeichnet auf dieser die Richtung der Verbindungslinie der Drehpunkte. Bei solchen Augen, deren Bewegungen dem Gesetze von Listing folgen, bleiben dann auch bei seitwärts geneigtem Kopfe die Nachbilder horizontaler Streifen den Horizontallinien der Wand parallel, wenn man den Blickpunkt längs der Verticallinie und der Horizontallinie verschiebt, die durch die Mitte des rothen Streifens gehen. Ebenso verhält es sich mit den Nachbildern eines verticalen Streifens in Beziehung auf die verticalen Linien der Tapete.

Diese Beobachtungen, wobei das Nachbild auf eine verhältnifsmäfsig entfernte and geworfen wird, haben den Vortheil, dafs kleine Verschiebungen des Kopfes nach :hts oder links, oben oder unten, einen verschwindend kleinen Einflufs auf die durch s Visirbrettchen gesicherte Lage der Blicklinie haben, und dafs ferner die Augen von bst in paralleler Stellung erhalten werden. Dagegen sind die Wände unserer Zimmer der Regel nicht grofs genug, um auch die Prüfung in den extremen Stellungen der icklinie bei hinreichend grofser Entfernung von der Wand vornehmen zu lassen, und : Kurzsichtige ist diese Beobachtungsart nicht zu gebrauchen, weil sie ohne Brille :ht für die Wand accommodiren können, und Brillengläser, wenn sie nicht centrisch d senkrecht zur Gesichtslinie stehen, die scheinbare Neigung der gesehenen Linien rändern können. Für Beobachtungen in der Nähe habe ich die von mir früher schriebene Methode abgeändert, um auch den Einflufs der Convergenz sicherer unter:chen und die Gröfse und Form des Gesichtsfeldes bestimmen zu können.

Als Gesichtsfeld dient eine an der Wand befestigte grofse hölzerne Tafel, die mit llgrauem Papier glatt überzogen ist. Um die Stellung des Kopfes vor dieser sicher iren zu können, ist vor ihr in einer für die Accommodation des Beobachters passenden ıtfernung ein kleines Tischchen aufgestellt und mit eisernen Klammern am Boden festigt Auf dem Tischchen ist ein eiserner Halter mit beweglichen Armen befestigt, e man ihn in chemischen Laboratorien vielfach gebraucht, und dieser hält ein 519 ettchen ähnlich dem der *Fig. 210*, aber ohne die Säule und das Visirzeichen. Das ettchen dient nur dazu, dem Kopfe des Beobachters, wenn er die Zähne darauf fest ifst, eine sichere Stellung der Tafel gegenüber zu geben. Mittels der Zähne kann die ellung des Kopfes viel besser gesichert werden, als durch irgend welche Befestigung, lche nur die Weichtheile desselben unmittelbar unterstützt. Ein zweiter verstellbarer rizontaler Arm des Halters wird so festgeschraubt, dafs die Stirn gegen ihn anliegt. ıf der Tafel wird dann, dem einen oder andern Auge gegenüber, ein passend gefärbter reif aus sehr steifem Papier oder dünnem Holz befestigt, der in seiner Mitte mit einem echknöpfchen, und um dieses drehbar, befestigt wird. Den Streifen mache ich entweder lb weifs und halb schwarz, oder halb grün und halb roth, so dafs die Trennungslinie ider Farben der Länge des Streifens parallel durch die Mitte seiner Breite hinläuft. ese Trennungslinie giebt dann ein gut gezeichnetes Nachbild. Ferner werden feine ıwarze Fäden horizontal und vertical über die Mitte des Streifens hingespannt, und Stellung des Zahnbrettchens so lange geändert, bis die Nachbilder des horizontalen reifens längs des horizontalen Fadens verschoben diesem parallel bleiben, und ebenso Nachbilder des vertical gestellten Streifens längs des verticalen Fadens. Dabei ist er zu bemerken, dafs die Gesichtslinien parallel gehalten werden müssen, und um dies controlliren, mache ich in der Entfernung meiner Augen von einander (68 Millimeter) nkte auf den Stellen der Tafel, nach denen ich hinblicke, den einen dicht an der ne, nach der ich hinblicke, den andern in gleicher Höhe seitwärts, so dafs, wenn ı die beiden Punkte mit parallelen Gesichtslinien betrachte, sie sich scheinbar einigen.

Auf diese Weise kann man die Primärlage des einen oder andern Auges finden. sie liegen bei mir um die Distanz der Augen selbst von einander entfernt. — dann nn man nachher dem Streifen, von dem das Nachbild genommen wird, beliebige ıräge Richtungen geben, und Fäden über seine Mittellinie hinspannen, um längs dieser Nachbilder zu verschieben. Um convergente Gesichtslinien zu haben, kann man, :hdem das Nachbild in einem Auge entwickelt ist, entweder einen Punkt der Tafel bst mit beiden Augen fixiren, oder beliebige hingesetzte Punkte mit convergenten oder erkreuzten Blicklinien zusammenfallen machen.

Wenn dann, wie bei Convergenzstellungen, die Nachbilder nicht genau mit dem den zusammenfallen, längs dessen Richtung man den Blick hinbewegt hat, so kann n den Streifen selbst schief gegen den Faden stellen, und diejenige Stellung desselben :hen, deren Nachbild dem betreffenden peripherischen Theile des Fadens parallel wird. r Winkel zwischen dem Streifen und dem Faden läfst sich leicht berechnen, wenn

man den Abstand mifst, den der über den Streifen laufende Faden an beiden Enden desselben mit seiner Mittellinie macht. Oder bequemer, kann man auch gleich auf den beiden Enden des Streifens eine Gradeintheilung anbringen, die nur wenige Grade zu umfassen braucht.

Die Genauigkeit, mit welcher die Vergleichung der Richtung der Nachbilder mit der der Fäden geschieht, geht bis zu einem halben Grade etwa. Das ist freilich keine mit der von astronomischen Beobachtungen zu vergleichende Genauigkeit; aber ich glaube, es wäre bei der Natur des Gegenstandes illusorisch, nach einer sehr viel gröfseren Genauigkeit zu streben. Denn schon bei diesen Beobachtungen findet man gewisse kleine Veränderungen, die nicht blos von der Convergenz, sondern auch von dem Wege abhängen, auf dem das Auge in die betreffende Stellung gebracht worden ist, und selbst an verschiedenen Tagen zu wechseln scheinen. Solche habe ich selbst nicht ganz selten gesehen, namentlich bei Schrägstellungen des Auges, noch deutlicher und gröfser waren sie bei Dr. Berthold, der in meinem Laboratorium arbeitete, und ich vermuthe, dafs sie überhaupt bei kurzsichtigen Augen gröfser sein werden, weil diese, hauptsächlich auf nahe Gegenstände angewiesen, an diesen je nach dem Grade der Convergenz stärker wechselnde Raddrehungen bei derselben Richtung der Blicklinie einüben müssen.

Herr E. Hering hat Versuche zur Controlle der Genauigkeit der Nachbildversuche angestellt, aus denen er schliefst, dafs Irrthümer in der Vergleichung ihrer Richtung mit objectiven Linien vorkommen könnten, welche einen Spielraum bis zu 5 Grad hätten.
520 Solche Irrthümer mufs ich bei gut entwickelten Nachbildern nach scharfer Fixation des Objects für geradezu unmöglich erklären; ich habe schon vorher angeführt, dafs bei sorgfältiger Anstellung der Versuche die Fehler einen halben Grad nicht überschreiten. Abweichungen von einem Grad, die ich an dem beschriebenen Apparat leicht absichtlich herstellen konnte, sind bei guter Ausführung des Versuchs sicher zu erkennen. Ich schliefse vielmehr aus den Versuchen von Hrn. E. Hering, dafs sein Auge entsprechende Schwankungen in seiner Stellung ausgeführt hat, was namentlich dadurch bedingt sein kann, dafs er das fixirte Object in 10 Zoll Entfernung vor sich hatte, und bei einäugiger längerer Betrachtung eines so nahen Objects starke Schwankungen der Convergenz vorzukommen pflegen.

Die Methode der Nachbilder ist unter den bisher bekannten Methoden zur Bestimmung der Stellung eines jeden einzelnen Auges, unabhängig vom andern, die zuverlässigste, wenn sie gut eingeübt ist. Sie erfordert namentlich in der Form, wie ich sie oben beschrieben habe, nicht, — was mir von grofsem Gewicht zu sein scheint, — dafs das Auge lange in peripherischen Stellungen verweile, sondern jeder einzelne Versuch ist schnell beendet.

Auch die Methode von Wundt [1] benutzt die Nachbilder zur Bestimmung der Augenstellungen. Derselbe entwirft die Nachbilder auf eine verstellbare und gegen die Blicklinie immer senkrecht stehende Scheibe, die an einem beweglichen Hebelarm befestigt ist. Sein Apparat hatte Winkeltheilungen, um die oben als *Longitudo*, *Latitudo* bezeichneten Winkel und die Raddrehung des verticalen Meridians gegen die Verticallinie abzulesen.

Prüfung des Drehungsgesetzes mittels des blinden Flecks. Diese Methode erlaubt ebenfalls, die Stellung jedes einzelnen Auges ganz unabhängig vom andern zu bestimmen. Sie wurde zuerst von A. Fick [2] angewendet. An der grauen Wand eines geräumigen Zimmers war in der Höhe, in welcher sich das Auge des auf einem Stuhle sitzenden Beobachters befand, ein geeignetes kleines Fixationsobject angebracht, ein weifser Kreis mit schwarzem zackigen Rande. Für das Auge wurde ein etwas über 6 Meter entfernter Standort so gewählt, dafs die Sehlinie, wenn sie das Object fixirte, die erwähnte Wand senkrecht traf. Unter diesem Standort waren am

---

[1] W. Wundt, *Archiv für Ophthalmologie*, Bd. VIII, 2, S. 16 und 17.

[2] A. Fick, *Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen*. V, 193—233.

Boden die Stellungen bezeichnet, welche die Füße des Stuhles haben mußten, wenn seine vordere Kante bestimmte Neigungen gegen die Wand haben sollte. Bei allen diesen Stellungen des Stuhles blieb die Mitte zwischen den hinteren Füßen an demselben Platze. FICK saß auf diesem Stuhle, den Rücken angelehnt, den Kopf gerade aus gerichtet, und fand, daß er auf diese Weise genügend sicher die Medianebene des Kopfes senkrecht zu der anderen Kante des Stuhles einstellte. Um die Neigung des Kopfes gegen die Horizontale zu beurtheilen, wurde ein hölzerner über den Kopf gehender Bügel mittels zweier Schrauben in den Gehörgängen befestigt und ein von seiner Mitte herabgehender gebogener Eisenstab auf die Nasenwurzel gestützt. Der Bügel hatte somit eine feste Lage zum Kopfe. An der in das linke Ohr gehenden Schraube hing ein Loth, das vor einem mit dem Bügel fest verbundenen Gradbogen spielte. So konnte die Neigung des Kopfes oder einer in der Medianebene gedachten Geraden gegen den Horizont bestimmt werden.

An der Wand war ein Blatt grauen Cartons drehbar um einen Stift im Fixationspunkte befestigt. Mittels einer über eine Rolle laufenden Schnur konnte der Beobachtende den Carton drehen. Auf diesem war ein schwarzer Fleck gemalt, in einer solchen Entfernung, daß er bei passender Einstellung in den blinden Fleck fiel. Ein Gehülfe las die Neigung des Kopfes ab, und wenn eine bestimmte Neigung hergestellt war, stellte sich der Beobachter mittels der Schnur den Carton so, daß der schwarze Fleck verschwand. An einer Tangentenskala konnte die Drehung des Cartons abgelesen werden. So wurde bestimmt, um wie viel das Auge gegen seine Anfangsstellung gedreht war. Die Drehung des Stuhles maß den als *Longitudo* bezeichneten Winkel, der Gradbogen am Ohr die *Latitudo*. Es kamen bei Wiederholung der Versuche Differenzen der Raddrehungswinkel vor bis zu 3 Grad; wenn man die Stifte, die in die Ohren gesteckt waren, mit der Lehne des Stuhles fest verbände und einen recht hellen weißen Fleck auf dunklem 591
Grunde gebrauchte, der der Projection des blinden Flecks an Größe und Gestalt genau entspräche, würde sich vielleicht eine größere Genauigkeit dieser Methode erreichen lassen.

MEISSNER[1] hat den Kopf festgestellt und das Gesichtszeichen, auf welchem sich der dunkle Fleck befand, bewegt. Der Kopf wurde zu dem Ende passend so festgestellt, daß sich das Auge in dem Mittelpunkte eines verticalen halben Gradbogens von 10 Zoll Radius befand, der um seine verticale Axe um einen zu messenden Winkel gedreht werden konnte (FICK's *Longitudo*, MEISSNER's *Latitudo*). An dem Gradbogen verschieblich, um einen Winkel, der abgelesen werden konnte (FICK's *Latitudo*, MEISSNER's *Longitudo*), befand sich ein Schieber, der an seiner dem Centrum zugekehrten Seite, um eine eben dahin gerichtete Axe drehbar, die Scheibe mit dem dunklen Flecke trug. MEISSNER's Resultate sind in der hier folgenden Tabelle zusammengestellt; und zwar ist der unmittelbar abgelesene Winkel, der dem $k'$ der Gleichung 4e) entspricht, angegeben.

| | | Nasenwärts | | | | Schläfenwärts | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | +30° | +20° | +10° | 0° | −10° | −20° | −30° |
| Gehoben | −30° | −3° | 0° | +2° | 0° | +3° | +6° | +10° |
| | −15° | +0°,5 | +1°,5 | +2°,5 | 0° | +1°,5 | +3° | +5° |
| | 0° | +7° | +5° | +4° | 0° | 0° | 0° | 0° |
| Gesenkt | +15° | +12°,5 | +8°,5 | +5° | 0° | −1°,5 | −2°,5 | −5° |
| | +30° | +19° | +13° | +7° | 0° | −3° | −6° | −9°,5 |
| | +35° | +20°,5 | +14° | +7°,5 | 0° | −3° | −7° | −10° |
| | +40° | +20°,5 | +14° | +7° | 0° | −3° | −7°,5 | −11° |
| | +45° | +21° | +14°,5 | +7° | 0° | −3° | −8° | −12° |
| | +50° | +21°,5 | +14°,5 | +7° | 0° | −3° | −8°,5 | −13° |

[1] MEISSNER. *Zeitschrift für rationelle Medicin.* Reihe 3, Band VIII.

Der ziemlich unregelmäſsige Gang der Werthe macht es wahrscheinlich, daſs Convergenzänderungen, die bei einäugiger Fixirung eines sehr nahen Objects schwer zu vermeiden sind, Einfluſs gehabt haben. MEISSNER selbst betrachtet seine Versuche als annähernd übereinstimmend mit dem Gesetze von LISTING, glaubt aber, daſs für die nasenwärts gerichteten Stellungen eine andere Primärlage zu nehmen sei, die unter 45° gegen die Horizontale nach unten gerichtet ist, für die nach auſsen gewendeten Stellungen dagegen liege die Primärlage in der Horizontalebene selbst. Um dieses Verhältniſs heraustreten zu lassen, hat er die Versuche noch einer Umrechnung unterworfen.

Von FICK's Versuchen habe ich die Mittelwerthe in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

| *Longitudo* | *Latitudo* −33° | −30° | −28° | −14° | −11° | −6° | 0° | +1° | +4° | +18° | +45° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| − 29° | | | −4°,7 | | | | | | | | |
| − 26° | | | | | +3°,5 | | | | | | |
| − 21° | | | | | | | | | +1°,5 | | |
| − 14° | | − 2° | | | | | | | | +5°,7 | |
| − 13° | | | | +2°,5 | | | | | | | |
| − 10° | | | | | | | | +2° | | | |
| 0° | + 2°,5 | | | | | | 0° | | | | +0°,1 |
| + 10° | | | | | | | | +0°,1 | | | |
| + 13° | | | | + 1°,7 | | | | | | −1°,8 | |
| + 14° | | −4°,7 | | | | | | | | | |
| + 21° | | | | | | | | | −0,°3 | | |
| + 26° | | | | | +3°,4 | | | | | | |
| + 29° | | | +7°,5 | | | | | | | | |
| + 33° | | | | | | +2°,9 | | | | −3°,3 | |

522 **Prüfung der Augenstellungen mittels der Vergleichung correspondirender Bilder beider Augen.** Die hierher gehörigen Methoden lassen, wie es scheint, eine viel gröſsere Genauigkeit zu, als die Methode der Nachbilder; sie können aber nur dazu dienen, die Stellungen beider Augen mit einander zu vergleichen, nicht die Stellung eines jeden einzelnen Auges zu finden. Sie sind deshalb sehr brauchbar, um die kleinen individuellen Abweichungen der Bewegungen vom LISTING'schen Gesetz zu finden. Auch kommt es in gewissen Fällen, namentlich für die Theorie des binocularen Sehens gerade wesentlich darauf an, die Differenzen in der Stellung beider Augen zu finden.

Die erste Anwendung dieser Methoden rührt von MEISSNER[1] her. Er machte darauf aufmerksam, daſs, wenn man einen gerade vor sich und normal zur Blickebene gehaltenen Draht so betrachte, daſs man die Augen auf einen nahe vor oder nahe hinter dem Drahte gelegenen Punkt convergiren lasse, der Draht der Regel nach nicht in parallelen Doppelbildern erscheine, sondern in solchen, die eine gewisse Neigung gegen einander haben, und daſs man den Draht selbst gegen die Visirebene neigen müsse, um ihn in parallelen Doppelbildern zu sehen. Aus der Lage des Drahtes gegen die Visirebene ergab sich dann leicht die Stellung, welche die verticalen correspondirenden Meridiane beider Augen haben, und daraus kann man die Raddrehung des Auges wenigstens für die medianen Lagen des Convergenzpunktes ableiten. MEISSNER fand durch die nach dieser von ihm sehr sinnreich erdachten Methode ausgeführten Untersuchungen im Wesentlichen das Gesetz von LISTING bestätigt, wenn auch gewisse Fehlerquellen, die erst durch spätere Untersuchungen aufgefunden wurden, gewisse Correctionen seiner Resultate

---

[1] G. MEISSNER, *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans*, 1851.

nothwendig machen möchten. Erstens nämlich kannte er noch nicht den Unterschied der scheinbar verticalen Meridiane des Auges von den wirklichen, und glaubte, der früher allgemein gemachten Annahme entsprechend, dafs unendlich entfernte Verticallinien sich auf identischen Meridianen beider Augen abbilden müfsten, was bei den meisten Augen nicht der Fall ist. Zweitens kannte er nicht den von VOLKMANN aufgefundenen Einflufs der Convergenz auf die Raddrehungen jedes einzelnen Auges. Auch kann wohl die Beurtheilung des Parellelismus der Doppelbilder durch den Umstand beeinträchtigt werden, dafs das eine Ende des Drahtes den Augen bald um eine gröfsere, bald um eine kleinere Strecke näher ist, was der Beobachter weifs und wahrnimmt, und dafs dadurch die Anschauung des Parallelismus der Doppelbilder als zweier geneigter körperlichen Linien sich einstellen kann, statt der Anschauung ihres Parallelismus im Gesichtsfelde, auf die es ankommt.

Es möchte deshalb die von VOLKMANN[1] gemachte Abänderung des Verfahrens von MEISSNER zweckmäfsiger sein: VOLKMANN hat an einer vor den Augen gelegenen senkrechten Wand zwei Drehscheiben so angebracht, dafs der Drehpunkt einer jeden in der Blicklinie des bezüglichen, auf unendliche Ferne gerichteten Auges liegt. Auf jeder Scheibe ist eine feine Linie verzeichnet, welche das Centrum der Scheibe schneidet und also mit der Umdrehung dieser ihre Lage ändert. Zur Bestimmung der Lagenveränderung ist im Umkreise der Scheibe ein Gradmesser angebracht. Der Beobachter betrachtet die beiden auf den Scheiben verzeichneten Linien unter minimaler Convergenz der Augen, so dafs er sie in wenig distanten Doppelbildern sieht, und sucht diese Doppelbilder durch Drehung der einen Scheibe parallel zu stellen.

Durch häufige Wiederholung solcher Einstellungen kann man sehr genaue Mittelwerthe erlangen. VOLKMANN hat diese Methode zwar nicht für verschiedene Kopfstellungen angewendet, um Schlüsse über die Bewegungen zu machen, aber sie läfst sich dazu anwenden, wenn man die Scheiben bei verschiedenen Kopfstellungen betrachtet.

VOLKMANN's Apparat läfst sich, wie ich gefunden habe, hierfür noch zweckmäfsig vereinfachen. Für die Prüfung der Parallelstellungen meiner eigenen Augen habe ich an einer verticalen Holztafel zwei durch kleine Gewichte gespannte Fäden aufgehängt, einen weifsen vor schwarzem Grunde und einen schwarzen vor weifsem Grunde. Die Entfernung der Stifte, an denen die Fäden hingen, wurde so gewählt, dafs bei den Beobachtungen die fixirten Mittelpunkte der Fäden die Distanz meiner Augen, 68 Millimeter, hatten. 523
Nach unten hin lehnten sich die Fäden an zwei Nadeln, die in das Holz eingesteckt waren und die Fäden etwas convergiren machten. Hinter der Mitte der Fäden, die zu fixiren war, war eine horizontale Linie gezogen, gerade in der Höhe meiner Augen. Die Fäden wurden mit parallel gerichteten Gesichtslinien betrachtet, wobei sie in denselben Ort des gemeinschaftlichen Sehfeldes zu liegen kommen, und die Nadel am unteren Ende des einen wurde so lange verschoben, bis sich die Fäden nicht mehr kreuzten, und bei schwacher Convergenz nicht mehr in divergenten, sondern in parallelen Bildern erschienen. Dadurch dafs man den Fäden verschiedene Farbe giebt, läfst sich ihre Congruenz im Gesichtsfelde besser beurtheilen, als wenn sie gleichfarbig sind, wobei sie leicht stereoskopisch verschmelzen, selbst wenn sie sich durchaus noch nicht decken. Wenn man sie als nahe Doppelbilder sieht, so erscheinen ihre Mitten getrennt und ihre Enden vereinigt. Man mufs dann darauf achten, dafs die Vereinigung nach oben und nach unten hin in derselben Weise vor sich geht.

Indem ich den Kopf vornüber und hintenüber neigte, konnte ich diese Versuche mit parallel gesenkten und parallel gehobenen Gesichtslinien wiederholen, und fand in der That kleine Abweichungen von dem durch LISTING's Gesetz hierbei geforderten vollkommenen Parallelismus ihrer Stellungen, so dafs der Winkel der scheinbar verticalen Meridiane bei parallel bis zur oberen Grenze des Blickfeldes gehobenen Blicklinien um 0°,3 gröfser ist als bei parallelem tiefsten Stande der Blicklinien, und sich hierbei im ersteren Fall das obere Ende des verticalen Meridians jedes Auges um 0°,15 mehr nach

[1] A. W. VOLKMANN. *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.* Leipzig. 1864. Heft 2. S. 199—340.

aufsen gedreht findet, als in der zweiten Stellung. Bei späteren Wiederholungen dieser Versuche fand ich es noch vortheilhafter, dem einen Auge als Object einen geradlinig begrenzten rothen Streifen von 3 Millimeter Breite, dem andern einen blauen Faden, beide auf schwarzem Grunde, zu zeigen. Der Faden mufs in der Mitte des rothen Streifens erscheinen.

Volkmann selbst hat seine Versuche über die Augenstellungen nach einer Abänderung dieser Methode ausgeführt. Nämlich statt der Drehscheiben mit Durchmessern wendete er solche mit je einem ausgezogenen Radius an, und bemühte sich bei binocularer Betrachtung diese Radien scheinbar in eine gerade Linie zu stellen. Der Kopf wurde dabei passend festgestellt; die Drehscheiben wurden in zwei dunkle Röhren eingesetzt, welche mittels passender Gelenke beliebig gerichtet werden konnten, so dafs jedes Auge durch je eine Röhre auf eine Drehscheibe hinsah, und dieselbe immer senkrecht zur Blicklinie des Auges eingestellt blieb.

Versuche mit parallelen Gesichtslinien angestellt ergaben, dafs die Abweichungen beider Augen von der durch das Listing'sche Gesetz geforderten Congruenz bei Volkmann's Augen sehr gering sind. Beim Blicke gerade nach oben oder nach unten, gerade nach rechts oder links von einer Stellung aus, welche Volkmann mittels Nachbildversuchen als Primärstellung gefunden hatte, ergaben die Versuche gar keine Differenz. Richtungen der Blicklinie schräg nach oben oder unten dagegen gaben kleine Abweichungen. Die folgenden Zahlen sind Mittelzahlen aus je 60 Beobachtungen, wobei in je 30 der bewegliche Radius dem rechten, in je 30 anderen dem linken Auge angehörte, und geben die Kreuzungswinkel der scheinbar eine senkrechte gerade Linie bildenden Radien

| | |
|---|---|
| Primärstellung: | 2°,21 |
| 30 Grad nach oben rechts: | 2°,74 |
| Ebenso weit nach oben links: | 2°,92 |
| Ebenso nach unten links: | 1°,31 |
| Ebenso nach unten rechts: | 1°,41. |

Die gröfste Abweichung von dem Winkel der Primärstellung ist 0°,9, was für jedes Auge bei gleichmäfsiger Vertheilung des Fehlers 0°,45 geben würde, eine Gröfse, die durch Versuche mit Nachbildern allerdings nicht mehr zu entdecken sein würde.

Volkmann fand ferner nach derselben Methode, dafs bei Convergenz auf einen 30 Centimeter entfernten Punkt in der Horizontalebene der Winkel der scheinbar verticalen Meridiane von 2°,15 bis auf 4°,16 stieg, so dafs sich jedes Auge dabei um
524 etwa einen Grad drehte, was bei derselben Richtung der Gesichtslinie und paralleler Stellung der anderen Gesichtslinie nicht der Fall gewesen sein würde.

Ich finde an meinen eigenen Augen eine sehr kleine Abweichung bei der Convergenz, aber in demselben Sinne wie Volkmann. Die Beobachtung geschah mittels eines feinen schwarzen Fadens, dessen Mitte durch ein Nadelöhr gezogen war. Die Nadel war in dem ebenen Felde einer weifs angestrichenen Thür in der Höhe meiner Augen befestigt, die Enden des Fadens waren über zwei andere in gleicher Höhe befestigte Nadeln geleitet und durch Gewichte gespannt. Der Faden bildete also zwei gerade Linien, die in dem Nadelöhr unter einem veränderlichen Winkel zusammenstiefsen. Je nachdem man die seitlichen Nadeln etwas höher oder tiefer einsteckte, konnte man diesen Winkel nach oben oder nach unten sich öffnen lassen. Die beiden Schenkel des Winkels blieben dabei immer in einer der Thürfläche parallelen Ebene. Wenn ich mit parallelen Gesichtslinien sehen wollte, hielt ich vor die mittlere Nadel einen senkrechten Streifen steifen Papiers von 68 Millimeter Breite. Bei parallelen Blicklinien treffen dann die noch sichtbaren seitlichen Theile der Fäden scheinbar in der Mitte zusammen und bilden einen Winkel. Ich veränderte die Stellung der Nadeln so lange, bis mir dieser Winkel gleich zwei Rechten erschien, also seine beiden Schenkel in eine gerade Linie fielen. Dann fixirte ich das Oehr der Nadel aus 20 Centimeter Entfernung, während ich zwischen meinem Nasenrücken und der Nadel ein Blatt Papier so anbrachte, dafs ich mit jedem Auge nur die gleichseitige Hälfte des Fadens sehen konnte. Wenn die Fixation auch in der

Primärstellung der Visirebene geschah, erschien mir der Faden doch nicht mehr geradlinig, sondern ich mufste die eine Hälfte desselben etwas senken, damit er wieder geradlinig erschien. Die der Convergenz auf 20 Centimeter entsprechende Drehung jedes meiner Augen würde hiernach 17 Minuten (0°,28) betragen, während sie bei VOLKMANN 1°,37 betrug.

Bei VOLKMANN ist diese Drehung stark genug, dafs er sie an dem Nachbilde einer gefärbten verticalen Linie wahrnehmen kann, welche er mit einem Auge bei parallelen Blicklinien fixirt hat, wenn er das Nachbild nachher mit convergenten Blicklinien dicht neben die Linie entwirft. Dasselbe gelang auch Prof. WELCKER bei VOLKMANN. Ganz ähnliche Versuche hatte übrigens auch J. B. SCHUURMAN [1] angestellt mit negativem Erfolge, während Prof. DONDERS bei angestrengter Convergenz Drehungen von 1° bis 3° bemerkte, in demselben Sinne wie VOLKMANN und ich. Viel deutlichere Abweichungen, durch Convergenz bewirkt, bemerkte ich, wie schon oben gesagt ist, bei der Untersuchung der Nachbilder in peripherischen Stellungen der Blicklinie.

**Bestimmungen der Ansatzpunkte und Drehungsaxen für die Augenmuskeln.** Die Wirkung dieser Muskeln ergiebt sich leicht aus ihrer Lage und Befestigung. Da ihre Sehnen alle eine Strecke über den Augapfel hin verlaufen und sich seiner Wölbung anlegen, wie Bänder, welche über eine Rolle laufen, so üben alle diese Muskeln einen Zug auf den Augapfel in tangentialer Richtung aus. Um die Richtung dieses Zuges genauer zu bestimmen, mufs man durch den Punkt, wo sich die Sehne anlegt, eine Tangente an den Augapfel legen, welche für den oberen schiefen Augenmuskel nach dessen Sehnenrolle hin zu ziehen ist, für die übrigen Muskeln dagegen nach ihrem knöchernen Ursprunge hin.

Da der Augapfel in seiner natürlichen Befestigung nur Drehungen um seinen Mittelpunkt ausführt, so haben wir die Wirkung der Muskeln auch nur insofern zu beachten, als dadurch solche Drehungen entstehen. Wird ein Körper, der frei um einen Punkt drehbar ist, wie der Augapfel, durch eine Kraft excentrisch angegriffen, so findet man die Richtung der daraus entstehenden Drehung, wenn man durch die Richtung der Zugkraft und durch den Drehpunkt eine Ebene legt und im Drehpunkt auf dieser ein Loth errichtet. Dieses Loth ist die Axe der betreffenden Drehung. Die Richtung des Zuges ist, wie wir gesehen haben, bestimmt durch den Punkt, wo sich die Sehne an den Muskel legt, und den Punkt, wo der Muskel (oder beziehlich seine Sehnenrolle) am Knochen festsitzt. Durch diese beiden Punkte und den Drehpunkt des Auges ist also jedesmal die Lage der zur Drehungsaxe normalen Ebene bestimmt. Wenn man also 525
die Lage jener drei Punkte geometrisch bestimmt, läfst sich daraus die Lage der Drehungsaxe finden.

Solche geometrische Bestimmungen sind von RUETE [2] und A. FICK gemacht worden. RUETE nahm zuerst die Schädeldecke durch einen Sägenschnitt nahe über der Orbita weg, stellte dann den Kopf so auf, dafs er die Stellung hatte, die er im Leben bei aufrechter Stellung zu haben pflegt. Darauf wurde ein Sägenschnitt in der Mitte zwischen beiden Augenhöhlen perpendiculär durch das *Os frontis*, durch die Mitte der *Crista galli*, der *Sella turcica* und den Rücken der Nase so tief heruntergeführt, dafs er einen geraden, vorn überstehenden Draht fest einlegen konnte, in einer Richtung, die mit den gerade nach vorn und horizontal gewendeten Sehaxen parallel stand, um sich später nach dieser Linie orientiren zu können. Darauf wurden beide Augen bis zur normalen Spannung aufgeblasen, dann horizontal parallel gerichtet und durch jedes Auge ein feiner, sehr zugespitzter Stahldraht in der Richtung der optischen Axe bis hinten in den Knochen der Orbita langsam rotirend durchgestofsen, um die Augen in ihrer Lage zu fixiren. Um die Lage der Augen noch mehr zu sichern, wurde in einigen Fällen auch noch eine Decke von Gyps über die geschlossenen Augenlider gegossen.

Darauf wurden die Augenhöhlen vorsichtig von oben geöffnet und die Ursprünge

[1] J. B. SCHUURMANS. *Vergelijkend Onderzoek der Beweging van het Oog.* Academisch Proefschrift. Utrecht 1868.
[2] RUETE. *Ein neues Ophthalmotrop.* Leipzig 1857.

und Insertionen der Muskeln sorgfältig frei präparirt, ohne von dem dazwischenliegenden Fett mehr wegzunehmen, als zur Darstellung der genannten Punkte nöthig war. Die Winkel, welche die Muskeln mit der optischen Axe bildeten, wurden dadurch gemessen, dafs winkelig gebogene Drähte angelegt wurden. Die Abstände der Ursprünge und Insertionen der Muskeln vom Mittelpunkte der Augen nach oben und unten, nach rechts und links, nach hinten und vorn mafs er mit dem Zirkel. Die Messungen wurden von drei Beobachtern wiederholt.

In letzterer Beziehung möchte es indessen wohl vorzuziehen sein, die Entfernungen der Muskel-Ursprünge und Ansätze, des Scheitels der Hornhaut und des Sehnerveneintritts von drei festen Punkten zu messen, wie FICK gethan hat, und danach die Coordinaten und die Lage des Mittelpunkts des Augapfels zu berechnen, da die Lage des letztern anatomisch nicht charakterisirt ist, und directe Messungen des senkrechten oder horizontalen Abstandes zweier nicht genau senkrecht oder horizontal neben einander liegender Punkte mit dem Zirkel ziemlich unsicher bleiben müssen. Im Mittel aus den Messungen an vier Köpfen giebt RUETE folgende Werthe in Millimetern, wobei die $x$ vom Mittelpunkt des Auges horizontal nach aufsen, die $y$ nach hinten, die $z$ senkrecht nach oben gehen.

| | Ansätze | | | Ursprünge | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $x$ | $y$ | $z$ | $x$ | $y$ | $z$ |
| Rectus superior | + 2,00 | — 5,667 | + 10 | — 10,67 | + 32 | + 4 |
| „ inferior | + 2,20 | — 5,767 | — 10 | — 10,8 | + 32 | — 4 |
| „ externus | +10,80 | — 5,00 | 0 | — 5,4 | + 32 | 0 |
| „ internus | — 9,90 | — 6,00 | 0 | — 14,67 | + 32 | 0 |
| Tendo obliqui superioris | + 2,00 | + 3,00 | + 11 | — 14,1 | — 10 | +12 |
| Obliquus inferior | + 8,00 | + 6,00 | 0 | — 8,1 | — 6 | — 15 |

Durchmesser des Auges = 24 Mm.

Die Angaben von A. FICK sind folgende:

| | Ansätze | | | Ursprünge | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $x$ | $y$ | $z$ | $x$ | $y$ | $z$ |
| Rectus superior | 0 | — 7,9 | + 9,1 | — 16 | + 31 | + 6,5 |
| „ inferior | 0 | — 7,9 | — 9,1 | — 17 | + 30 | + 2 |
| „ externus | + 9,1 | — 7,9 | 0 | — 15 | + 31 | + 2 |
| „ internus | — 9,1 | — 7,9 | 0 | — 18 | + 30 | + 4 |
| Obliquus superior | + 4,6 | + 2,7 | + 9,9 | — 19,6 | — 10,9 | +12,8 |
| „ inferior | +10,4 | + 6,0 | 0 | — 18 | + 30 (?) | + 6 |
| Sehnerveneintritt | + 3,4 | +11,5 | 0 | | | |
| Scheitel der Cornea | 0 | —12 | 0 | | | |

526 Die Werthe von $y$ und $z$ für den Ursprung des *Obliquus inferior* müssen, wie RUETE schon bemerkt hat, fehlerhaft sein; beide sind nämlich jedenfalls negativ.

Die Lage der Drehungsaxen hat RUETE aus seinen Coordinatenmessungen berechnet und giebt folgende Werthe für die Winkel $a$, $b$, $c$, welche die (nach unserer Bezeichnung negative) Drehungshalbaxe mit den Richtungen beziehlich der positiven $x$, $y$ und $z$ macht:

| | $a$ | $b$ | $c$ |
|---|---|---|---|
| R. internus | 90° | 90° | 180° |
| R. externus | 90° | 90° | 0° |
| R. superior | 161½° | 109½° | 90° |
| R. inferior | 19° | 71° | 90° |
| Obl. superior | 51° | 141° | 84½° |
| Obl. inferior | 127° | 37° | 90° |

Wie die Drehungen um verschiedene Axenpaare sich zusammensetzen, ist oben rörtert worden; da die Anschauung dieser Verhältnisse schwer übersichtlich zu machen t, hat RUETE [1] zuerst unter dem Namen Ophthalmotrop ein drehbares Modell der beiden ugen construirt, an welchem die Muskeln durch entsprechend gezogene Fäden dargestellt nd, die durch Federn gespannt werden, und deren Verschiebungen man an einer Skale blesen kann. Zur Versinnlichung der Vorgänge wird in der Regel die von KNAPP vernfachte Form des Instruments genügen, welche in *Fig. 211* dargestellt ist. Die beiden ünstlichen Augäpfel sind ittels eines Kugelgelenks m ihren Mittelpunkt drehar; der Aequator, die Hornaut, der verticale und horiontale Meridian sind auf nen angegeben, und starke eidene Fäden verschiedener 'arbe an denjenigen Stellen efestigt, wo sich die Muskeln m Augapfel befestigen. Daıit die Fäden die Richtung er Muskeln erhalten, sind ier von ihnen, welche den ier geraden Augenmuskeln ntsprechen, durch vier nahe eben einander liegende öcher des Brettchens *A* gezogen, und hängen hinter dem Brettchen durch Gewichte ausgespannt herab. Zwei von den Fäden aber, die den beiden schiefen Augenmuskeln an jedem Auge entsprechen, sind über die kleinen Rollen am oberen und unteren Ende des verticalen Messingbalkens *B* gezogen und dann um die Rollen herum nach der Mitte des Brettchens *A* geleitet, wo sie ebenfalls durch Löcher gehen und durch Gewichtchen gespannt sind. Die gleichnamigen Muskeln beider Augen sind durch gleichfarbige Fäden dargestellt. Macht man nun mit einem oder beiden Augäpfeln eine beliebige Drehung, so werden diejenigen Fäden angezogen, welche Muskeln entsprechen, lie bei der betreffenden Bewegung des Auges gedehnt werden, und also der Bewegung widerstehen würden. Umgekehrt werden diejenigen Fäden nachlassen und ihre Gewichte inken, deren entsprechende Muskeln am Auge sich bei den betreffenden Bewegungen 27 erkürzen, und die also im Stande sind, die Bewegung hervorzubringen oder zu unterstützen. Indem man also darauf achtet, welche Gewichte und um wie viel sie herabteigen, kann man unmittelbar sehen, welche Muskeln und mit welcher Intensität etwa n Thätigkeit versetzt werden müssen, um die betreffende Bewegung hervorzubringen. 'ür Demonstrationen und namentlich um schnell eine Uebersicht über die oft sehr verickelten Verhältnisse der pathologischen Abweichungen zu gewinnen, ist der Apparat ehr geeignet.

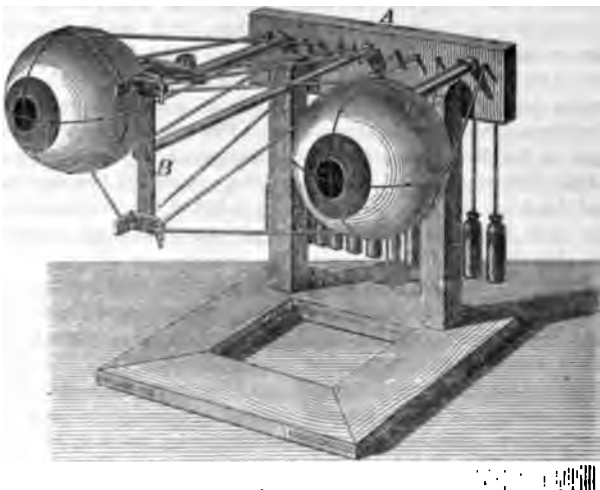


*Fig. 211.*

Ein anderes Ophthalmotrop hat WUNDT [2] construirt, an welchem die Fäden ıit Spiralfedern verbunden sind, deren Kraft und Länge denen der Augenmuskeln öglichst proportional gemacht worden sind, und an welchem der Augapfel von selbst ie den Versuchen von WUNDT über die Augenstellungen entsprechende Richtung an-

[1] *Ein neues Ophthalmotrop.* Leipzig 1857. — *Das Ophthalmotrop, dessen Bau und Gebrauch.* Göttingen 1845. as dem ersten Bande der Göttinger Studien

[2] W. WUNDT, *Archiv für Ophthalmologie*, VIII 2. 88.

nimmt, wenn seine der Blicklinie entsprechende Axe in die verlangte Stellung übergeführt wird. Wundt hat dies Modell namentlich zur Erläuterung seines Princips von der geringsten Anstrengung benutzt, aus welchem er das Gesetz der Augenbewegungen herleitete.

Historisches. Die ersten Untersuchungen über Bewegung der Augen bezogen sich auf die Lage des Drehpunkts. Joh. Müller[1] meinte noch, daſs der Drehpunkt des Auges in der Mitte seiner Hinterfläche liegen müſste, eine Meinung, die auch von Tourtual[2] und Szokalsky[3] vertheidigt wurde. Volkmann[4] suchte mittels seines Gesichtswinkelmessers den Kreuzungspunkt der Richtungslinie zu ermitteln und den Drehpunkt, wie oben S. 111 schon auseinandergesetzt ist, zu bestimmen; er glaubte, daſs beide Punkte zusammenfielen; der Punkt, den er bestimmte, war in Wirklichkeit wohl der Drehpunkt, der nach ihm 5,6‴ hinter der Hornhaut liegen sollte. Der daran sich knüpfende Streit mit Mile, Knochenhauer, Stamm und Burow ist ebenfalls schon oben erwähnt. Der Letztere machte genauere Bestimmungen des Drehpunktes.[5] Für den Abstand dieses Punktes von der Hornhaut fand er im Mittel von 40 Beobachtungen 5,42‴ mit einer gröſsten Abweichung von 0,8‴ Valentin[6] wiederholte diese Versuche, sowohl für horizontale, als für verticale Bewegungen, und fand im ersten Fall im Mittel 5,501‴, im letzteren 5,08‴. Sehr viel später folgten die oben erwähnten Untersuchungen von Junge (in russischer Sprache veröffentlicht) und von Donders und D. Doijer.[7]

Auch die Untersuchungen über die Raddrehung hat Joh. Müller begonnen.[8] Er sagt, daſs er mittels verschiedener Punkte auf dem Augapfel, die er mit Tinte auf dem Weiſsen desselben bezeichnet hatte, habe erkennen können, daſs das Auge während seiner Bewegungen nicht um seine Längsaxe gedreht werde. Diese Meinung blieb die herrschende unter den Physiologen, bis eine Arbeit von Hueck[9] den Anstoſs zu vielen Untersuchungen gab. Hueck versuchte eine schon von Hunter geäuſserte Meinung zu vertheidigen, nämlich daſs bei der Neigung des Kopfes nach der Schulter eine entgegengesetzte Drehung des Auges um die Gesichtsaxe stattfinden sollte. Diese Drehung schreibt er den schrägen Augenmuskeln zu. Er meinte sich von der Richtigkeit seiner Behauptung überzeugt zu haben, indem er sowohl bei sich selbst, wie bei anderen, die Verschiebungen der Conjunctival-Gefäſse bei Bewegungen des Kopfes beobachtete.

Die von Hueck aufgestellten Behauptungen wurden von den meisten Physiologen als richtig angenommen. Obgleich Tourtual[10] mit Recht bemerkte, daſs die Axendrehung für die Functionen des Gesichts durchaus nicht nothwendig sei, und obgleich Ritterich und Ruete Widerspruch gegen die Thatsache erhoben, so wurde die Meinung von Hueck doch von Tourtual, Burow,[11] Valentin,[12] Krause[13] und Volkmann[14] vertheidigt. Tourtual selbst überzeugte sich schon, indem er die Stellung des blinden Flecks unter-
528 suchte, daſs die scheinbare Drehung des Auges im Kopfe wenigstens nicht zureiche, um die Orientirung der Meridiane des Auges ganz unverändert zu lassen. Ruete[15] bewies mittels der Nachbilder, daſs eine Drehung des Auges bei Neigungen des Kopfes (und unveränderter Stellung des Auges im Kopfe) überhaupt nicht eintrete. Donders[16]

---

[1] J. Müller, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig 1826. S. 254.
[2] Tourtual, *Müller's Archiv* 1840. S. XXIX.
[3] Szokalsky, C. R. 1843.
[4] Volkmann, *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* 1836. S. 33.
[5] Burow, *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges.* 1842.
[6] Valentin, *Lehrbuch der Physiologie des Menschen*, Bd. II, 1844.
[7] *Archiv für die Holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde.* 1863, III. 560.
[8] Joh. Müller, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* 1826, S. 254.
[9] Huek, *Die Achsendrehung des Auges.* 1838.
[10] Tourtual, *Müller's Archiv* 1840, S. LV und LIV; 1846, S. 346.
[11] Burow, *Beiträge zur Physiologie des Auges.* S. 8.
[12] Valentin, *Repertorium* 1842. S. 407. *Lehrbuch der Physiologie* II, 332.
[13] Krause, *Handbuch der Anatomie.* 1843, S. 550.
[14] Volkmann, Artikel Sehen in *Wagner's Handwörterbuch.* S. 273.
[15] Ruete, *Lehrbuch der Ophthalmologie*, S. 14. *Das Ophthalmotrop* 1846, S. 9.
[16] Donders, *Nederlandsch Lancet.* 1846 August. *Holländische Beiträge zu den anat. und physiol. Wissenschaften.* 1848. I, 105—145; 384—386.

benutzte diesen Gedanken von RUETE zu einer eingehenderen Prüfung des Gegenstandes. Er wies zunächst nach, wodurch HUECK bei seinen Beobachtungen getäuscht worden war; dafs er nämlich nicht hinreichend darauf geachtet hatte, die Stellung des Auges im Kopfe unverändert zu erhalten, während er die Stellung des Kopfes selbst änderte, und dafs die von ihm beobachteten Drehungen von dem ersteren, nicht vom letzteren Umstande abhingen. Er fand ferner, dafs die Nachbilder verticaler Objecte bei rein horizontalen und rein verticalen Bewegungen der Augen parallel bleiben, aber bei schräg seitlich gerichteten Hebungen und Senkungen sich schräg stellen. Ein bestimmtes Gesetz für die Gröfse dieser Schiefstellung hat er nicht aufgestellt.

Ein solches Gesetz war indessen von LISTING [1] aufgestellt worden, und zwar dasjenige, welches für die meisten normalsichtigen Augen in der That sehr genau zuzutreffen scheint. Er hat aber keinen Beweis dafür gegeben und es nicht einmal selbst veröffentlicht. MEISSNER [2] unterwarf dieses Gesetz zuerst einer empirischen Prüfung mittels der Methode der Doppelbilder und fand es im Wesentlichen durch seine Versuche bestätigt; er suchte die Bedeutung des LISTING'schen Gesetzes daraus herzuleiten, dafs dasselbe den gröfsten Horopter gebe, ein Punkt, der weiter unten zu besprechen ist.

Nach einer anderen Erklärung des Raddrehungsgesetzes suchten FICK [3] und WUNDT [4], die auf das LISTING'sche Gesetz weiter keine Rücksicht genommen haben, und von denen der erstere mittels des blinden Flecks, der letztere durch Nachbilder die Stellungen seines Auges bestimmte. Sie waren der Ansicht, dafs der Augapfel denjenigen Grad der Raddrehung annehme, der es erlaube, die verlangte Richtung der Gesichtslinie mit der kleinsten Muskelanstrengung herzustellen. Dieser Satz ist höchst wahrscheinlich richtig, obgleich unsere Kenntnifs der Bedingungen, von denen die Muskelanstrengung abhängt, noch nicht genügt, die Berechnung auf sicheren Grundlagen durchzuführen. WUNDT hat auch eine Art Ophthalmotrop, ein Modell des um einen Punkt drehbaren Auges hergestellt, an welchem die Augenmuskeln durch Messingfedern von entsprechender Länge und Stärke ersetzt waren, und an dem die Drehungen des Augapfels für die verschiedenen Lagen der Gesichtslinie den Beobachtungen von WUNDT an seinen eigenen Augen ziemlich gut entsprechend eintreten.

In Anbetracht des Umstandes aber, dafs die Stärke der Muskeln selbst während des individuellen Lebens den von ihnen verlangten Leistungen sich anpafst, schien mir dies Princip, selbst wenn es sich als factisch richtig bewähren sollte, nicht den eigentlichen letzten Grund des Gesetzes enthalten zu können. Ich fand bei der Prüfung des LISTING'schen Gesetzes mit Hülfe von Nachbildern dieses für meine eigenen Augen und für die einiger anderer normalsichtiger Beobachter mit grofser Genauigkeit zutreffend; dasselbe bestätigte die Prüfung mit Doppelbildern für mein eigenes Auge. Ich suchte die Methode namentlich so zu verändern, dafs die Stellung des Kopfes besser gesichert war, und dafs Ermüdung der Muskeln durch Winkelmessungen in seitlichen Stellungen des Auges vermieden wurde, und suchte den Grund des Gesetzes in dem oben gegebenen Principe der leichtesten Orientirung.[5] Einwände gegen die Methode der Beobachtung und gegen die Begründung des Gesetzes, welche E. HERING [6] aufstellte, habe ich oben zu beseitigen gesucht.

## §. 28. Das monoculare Gesichtsfeld. 529

Bei dem gewöhnlichen Gebrauche unserer Augen sehen wir mit ihnen beiden zugleich, indem wir sowohl sie selbst im Kopfe hin- und herbewegen,

[1] RUETE, *Lehrbuch der Ophthalmologie; Ein neues Ophthalmotrop.* 1857.
[2] G. MEISSNER, *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans* 1854. *Archiv für Ophthalmologie* II. 1855.
[3] A. FICK, *Moleschott's Untersuchungen*, Bd. V, S. 193. 1858; *Zeitschrift für rationelle Medicin* 1854, IV. S. 801.
[4] W. WUNDT, *Graefe's Archiv für Ophthalmologie* VIII. 1862, S. 1—114.
[5] H. HELMHOLTZ, *Archiv für Ophthalmologie*, IX, 153—214.
[6] E. HERING, *Beiträge zur Physiologie*. Leipzig 1864. S. 248—286.

als auch von Zeit zu Zeit unsern Kopf und unsern ganzen Körper im Raume seinen Ort wechseln lassen. Dabei pflegen wir die Augen in der Weise herumschweifen zu lassen, dafs beide bald diesen, bald jenen Punkt der vor uns liegenden Objecte fixiren, das heifst, beide sich so wenden, um das Bild des fixirten Punktes gleichzeitig auf den Centren der Netzhäute zu empfangen. Indem wir die Augen so gebrauchen, sind wir im Stande, richtige Wahrnehmungen des Ortes derjenigen gesehenen Gegenstände zu gewinnen, von denen das Licht ungestört in seinem geradlinigen Wege zu unserem Auge gelangt.

In der That läfst sich nach den in § 10 erörterten Gesetzen der Lichtbrechung im Auge einsehen, dafs wenn bekannt ist die Stellung des Körpers und des Kopfes, ferner die Stellung beider Augen im Kopfe, und
530 somit auch die Lage ihrer Knotenpunkte, endlich die Orte der beiden Netzhäute, welche von den Bildern desselben leuchtenden Punktes getroffen werden, dafs dann auch eindeutig bestimmt werden kann der Ort, wo der leuchtende Punkt sich wirklich befindet. Denn man ziehe von dem Netzhautbilde jedes Auges eine gerade Linie durch den Knotenpunkt, und verlängere sie. Beide Richtungslinien werden sich nur in einem Punkte schneiden können, und nur in diesem Punkte wird sich das leuchtende Object befinden können.

Von der Genauigkeit der einzelnen oben geforderten Bestimmungen wird es übrigens abhängen, mit welcher Genauigkeit der Ort des gesehenen Objects im Raume wirklich bestimmt wird.

Wenn also gegeben sind:

1) Empfindungen, welche genügen, um eine richtige Kenntnifs zu gewinnen von der Stellung unseres Körpers und Kopfes gegen ein beliebig für die Abmessungen gewählte Grundlage, zum Beispiel den Fufsboden, auf dem wir stehen,
2) Empfindungen, welche zu einem richtigen Urtheil über die Stellung unserer Augen im Kopfe genügen,
3) Momente in der Empfindung (sogenannte Localzeichen), durch welche wir die Reizung der von dem Lichte des Objectpunktes $A$ gereizten beiden Netzhautstellen von der Reizung aller anderen Netzhautstellen unterscheiden können (von welcher Art diese letzteren sind, darüber wissen wir gar nichts; dafs dergleichen da sein müssen, schliefsen wir eben nur aus dem Umstande, dafs wir Lichteindrücke auf verschiedenen Theilen der Netzhäute zu unterscheiden vermögen),

so ist hinreichendes Material gegeben, um den Ort des Punktes $A$ im Raume unzweideutig daraus bestimmen zu können. Befände sich der Punkt $A$ an irgend einem andern Orte des Raums, so würde er ein anderes Aggregat von Empfindungen erregen müssen. Die Erfahrung lehrt nun, dafs wir im Allgemeinen auch wirklich durch das Gesicht die Orte der gesehenen Objectpunkte richtig bestimmen können. Die Genauigkeit dieser Bestimmung ist freilich eine wechselnde und hängt namentlich davon ab, wie nahe in

beiden Augen die Bilder des Punktes $A$ dem Centrum der Netzhautgrube liegen.

Wir werden nun also zu untersuchen haben, wieviel die genannten Momente der Empfindung einzeln genommen zu der genauen Wahrnehmung des Ortes der Objecte beitragen. Wir werden dabei nicht weiter untersuchen, von welchen Empfindungen die Beurtheilung der Stellung des Körpers zum Fufsboden und des Kopfes zum Körper abhängig ist; die Untersuchung darüber gehört in die Physiologie der Sinneswahrnehmungen überhaupt, nicht in die des Gesichtssinnes. Wir nehmen also an, dafs die Stellung des Kopfes gegen die zu Grunde gelegte Basis der räumlichen Abmessungen in jedem Falle genau bekannt sei. Dann bleibt also zu untersuchen, wieviel zur Erkenntnifs des Ortes der Objecte beitragen

1) Bewegungen des Kopfes
2) Bewegungen der Augen im Kopfe
3) Sehen mit einem Auge
4) Sehen mit beiden Augen.

Wir beginnen unsere Untersuchung damit, dafs wir feststellen, was beim 531
Gebrauche nur eines Auges und beim Ausschlufs aller Bewegungen des Kopfes erkannt werden könne. Die Bewegungen des betreffenden Auges im Kopfe dagegen werden in dem vorliegenden Abschnitte im Allgemeinen nicht ausgeschlossen.

Zunächst ist klar, dafs wenn gegeben ist Ort und Stellung eines Auges, und der Ort des Netzhautbildes eines leuchtenden Punktes, für den das Auge accommodirt ist, so können wir von seinem Netzhautbilde eine gerade Linie durch den Knotenpunkt des Auges ziehen, und wissen zunächst, dafs der leuchtende Punkt vor dem Auge in dieser Linie liegen müsse. In welchem Punkte dieser Linie er aber liege, bleibt nothwendig unbekannt, wenn wir keine anderen Hilfsmittel zur Entscheidung darüber haben. Zwar könnte man an die Accommodation des Auges denken. Wäre das Auge möglichst gut für den Punkt accommodirt, so würde möglicher Weise der Grad der Accommodationsanstrengung, oder die Gröfse des vorhandenen Zerstreuungskreises Aufschlufs über die Entfernung geben können. Wir werden weiter unten in § 30 untersuchen, welche Hilfsmittel beim monocularen Sehen für die Beurtheilung der Entfernung noch vorhanden sind, und dabei sehen, dafs die Accommodation in der That ein aufserordentlich unvollkommenes Hilfsmittel für die Beurtheilung der Entfernung ist. Wenn wir also von den kleinen Unterschieden in der Schärfe des Bildes absehen, welche durch wechselnde Accommodation hervorgebracht werden können, so ist kein anderes Moment in der Empfindung vorhanden, welches darüber Aufschlufs gäbe, in welcher Entfernung der leuchtende Punkt liegt.

Oben wurde vorausgesetzt, das Auge sei genau accommodirt für den leuchtenden Punkt. Dann können wir, um seine Richtung zu finden, von seinem Netzhautbilde, wie oben vorgeschrieben ist, die gerade Richtungslinie durch die Knotenpunkte ziehen, oder aber auch jedem anderen Strahle

folgen, der von irgend einem Punkte der Pupille nach dem Netzhautbilde hinläuft. Wenn wir die Brechung eines solchen Strahls nach den in § 10 gegebenen Regeln richtig construiren, um seinen Weg vor dem Auge zu finden, wird uns jeder solcher Strahl schliefslich zu dem leuchtenden Punkte zurückführen, von dem er ausgegangen ist. In diesem Falle bleibt es also gleichgiltig, welchen von den in die Pupille gefallenen Strahlen wir wählen, um die Richtung zu bestimmen, in welcher der leuchtende Punkt liegt.

Dies ist aber nicht mehr gleichgiltig, wenn wir auf der Netzhaut Bilder von leuchtenden Punkten haben, für welche das Auge nicht ganz genau accommodirt ist. In solchen Fällen dürfen wir den Mittelpunkt des Zerstreuungskreises als den Ort des Netzhautbildes betrachten[1]. Der Strahl aber, welcher von dem leuchtenden Punkte nach der Mitte des eventuellen Zerstreuungskreises hingeht, geht, wie schon oben S. 115 bemerkt, durch den Mittelpunkt der Pupille und ist mit dem Namen einer Visirlinie
532 belegt worden. Wenn sich der leuchtende Punkt längs dieser Visirlinie hin und her bewegen würde, so würde sich in der Empfindung nichts verändern, als dafs das Zerstreuungsbild desselben kleine Vergröfserungen und Verkleinerungen erlitte, welche selbst bei sehr bedeutendem Wechsel der Entfernung unmerklich klein sein könnten.

Es läfst sich ferner zeigen, dafs auch durch eintretende Accommodation des Auges für die Nähe der Mittelpunkt der Zerstreuungskreise auf der Netzhaut seinen Ort nicht merklich verändert. Die darauf bezügliche Rechnung wird am Ende dieses Paragraphen gegeben werden.

Um nun zur Anschauung zu bringen, was wir mit einem Auge ohne Hilfe von Bewegungen des Kopfes und ohne Berücksichtigung der Accommodationsunterschiede von der Aufsenwelt erkennen können, dazu sind namentlich sehr weit entfernte Gegenstände als Gesichtsobjecte die passendsten Beispiele. Denn bei sehr weit entfernten Objecten bringen mäfsige Bewegungen unseres Kopfes keine andere Veränderung des Bildes hervor, als wir auch durch Drehungen des Auges allein hervorbringen können. Ja, beim Anblick unendlich entfernter Objecte ist es sogar gleichgültig, ob wir das zweite Auge ebenfalls öffnen, oder nicht. Denn der Gebrauch des zweiten Auges giebt uns nur dann ein neues verwerthbares Moment der Empfindung, wenn die in ihm gezogene Visirlinie die des ersten Auges irgendwo in einer mefsbaren Entfernung schneidet. Wenn beide Linien merklich parallel sind und neben einander in unabsehbare Entfernung hinauslaufen, so giebt uns das keinen Aufschlufs über die wirkliche Entfernung des leuchtenden Objectes, aufser dem negativen, dafs es jenseits einer gewissen Grenze der Entfernung liegen mufs.

Betrachten wir weit entfernte irdische Gegenstände, so kann uns die früher gewonnene Bekanntschaft mit ihrer wirklichen Form und Entfernung,

[1] Es ist hier nur von leuchtenden Punkten die Rede; dafs es sich an den Rändern leuchtender Flächen anders verhält, ist bei der Lehre von der Irradiation in § 21 auseinandergesetzt.

Farbe u. s. w. noch mancherlei Hilfe in der Deutung unseres Gesichtsfeldes gewähren. Wollen wir uns von allen diesen Hilfsmitteln früherer Erinnerung frei machen, so bietet sich uns ein Object dar, was für diese Untersuchung in ausgesuchter Weise pafst, nämlich der gestirnte Himmel. An dem finden wir Objecte, von deren Form, Gröfse und Entfernung uns durchaus keine frühere Anschauung unterrichtet hat, für deren Wahrnehmung der Gebrauch beider Augen und die etwa von uns ausgeführten Bewegungen durchaus nicht weitere sinnliche Momente gewähren, als ein einzelnes Auge gewähren kann, dessen Ort im Raume unverändert bleibt.

Unter diesen Umständen erscheinen uns die Objecte, welche in der That im Raume nach drei Dimensionen vertheilt sind, nur noch nach zwei Dimensionen ausgebreitet. Wir sind nur noch im Stande, die Richtung der Visirlinie zu erkennen, die zu jedem einzelnen gesehenen Punkte hinführt. Eine solche Richtung braucht zu ihrer Festsetzung nicht mehr drei Bestimmungsstücke, wie ein Punkt, sondern nur zwei; wie denn auch die Sterne in ihrer Lage bestimmt werden durch je zwei Winkel, entweder ihre Länge und Breite im Verhältnifs zum Pol und Aequator, oder ihre Rectascension und Declination im Verhältnifs zur Ekliptik.

Eine Raumgröfse von zwei Dimensionen ist eine Fläche; in einer solchen ist die Lage der Punkte festgestellt durch je zwei Bestimmungsstücke. Wenn wir also beim Sehen mit einem Auge, dessen Drehpunkt seinen Ort im Raum 533
nicht wechselt, die eine Dimension, die Entfernung, nicht zu unterscheiden vermögen, so können wir die Objecte nicht mehr im Raume, sondern nur noch wie an einer Fläche vertheilt sehen. Diese scheinbare flächenartige Anordnung der gesehenen Objecte nennen wir das Gesichtsfeld. So sehen wir zum Beispiel die Sterne an der imaginären Fläche des Himmelsgewölbes vertheilt.

Ich bitte den Leser darauf zu achten, dafs ich nicht gesagt habe, die Gegenstände erschienen uns an oder auf einer Fläche vertheilt, sondern nur wie an einer Fläche, in flächenartiger Anordnung, in einer nach zwei Dimensionen unterschiedenen Anordnung. In der That stellen wir uns nicht nothwendig eine bestimmte Fläche in bestimmter Entfernung vor, an der die Sterne oder die fernen Berge des Horizonts angeheftet wären, wenn auch das eherne Himmelsgewölbe und die krystallinischen Sphären der alten Zeit der natürliche Ausdruck für eine kindlichere Art der Anschauung sind, in der man Alles recht greifbar zu machen suchte. Es ist dadurch manche Schwierigkeit in die physiologische Optik gekommen, dafs man glaubte, in jedem Falle eine bestimmte Fläche, meist eine Kugelfläche, als das zeitweilige Gesichtsfeld jedes Auges annehmen zu müssen. Man kann sich jede Function von zwei Variablen auf einer Fläche darstellen. So haben wir in § 20 die Farben gleicher Helligkeit nach gewissen Regeln auf der Farbenscheibe dargestellt. Die beiden Variablen, nach denen die Farbe sich unterscheidet, sind hierbei der Farbenton und der Sättigungsgrad gewesen. Gehen wir durch eine continuirliche Reihe von Farbentönen von

einer Anfangsfarbe aus und zu derselben wieder zurück (das heifst, ziehen wir eine geschlossene Linie in der Farbenscheibe), so zerfällt dadurch die Gesammtheit der Farben in zwei vollständig getrennte Gruppen (die aufserhalb und innerhalb jener Linie dargestellt sind), und wir können nicht von einer Farbe der einen Gruppe continuirlich zu einer der andern Gruppe übergehen, ohne durch eine der zuerst berührten Farben (die in der geschlossenen Linie liegen) hindurchzugehen. Dies letztere ist nun auch die Charakteristik einer einfach zusammenhängenden Fläche; jede geschlossene Linie, die wir in ihr ziehen, theilt sie in zwei Theile, und wir können nicht von einem Punkte des einen Theils zu einem des andern in der Fläche übergehen, ohne durch jene geschlossene Linie durchzugehen. Eben wegen dieser Analogie machen wir uns das System der Farben anschaulich, indem wir sie auf einer Fläche ausgebreitet darstellen, und mehr will es zunächst auch nicht sagen, wenn wir die Objecte auf die imaginäre Fläche des Gesichtsfeldes, deren Ort im Raume übrigens ganz unbestimmt bleibt, entwerfen.

Uebrigens ist auch leicht einzusehen, dafs diese Anschauung einer flächenhaften Vertheilung der Gegenstände im Gesichtsfelde auch da erhalten bleiben mufs, wo wir gleichzeitig mit ihr vollständig genaue und richtige Anschauungen der wirklichen Vertheilung der Objecte im Raume durch unsern Gesichtssinn haben. Denn immer wird die Eigenthümlichkeit in der Anschauung stehen bleiben, dafs, wenn ich mit dem Blicke eine geschlossene Linie im Gesichtsfelde durchlaufen habe, ich von einem innern zu einem äufseren Punkte den Blick nicht überführen kann, ohne jene geschlossene
534 Linie zu durchschneiden. Wenn ich den Umfang eines Fensters mit dem Blick umschrieben habe, kann ich von einem Objecte, welches ich aufserhalb des Fensters sehe, nicht zu einem Objecte an den Wänden des Zimmers übergehen, ohne mit dem Blicke über den Rand des Fensters zu streifen, und dadurch ist das wesentliche Kennzeichen einer flächenartigen Anordnung der gesehenen Objecte gegeben, obgleich wir andererseits sehr wohl wissen, dafs im wirklichen Raume unendlich viele Linien von jenem äufseren Punkte zu dem an der Zimmerwand gezogen werden können, welche die Umgrenzungslinie des Fensters durchaus nicht schneiden.

Eben weil wir in dieser Weise mit dem Blicke über die Gesichtsobjecte hinstreifend dieselben in einer flächenhaften Anordnung finden, ist es nun auch möglich, ihren Anblick durch flächenhafte Zeichnungen und Gemälde dem Auge zurückzurufen. Der Zeichner, welcher eine Landschaft abbilden will, bemüht sich nicht zu ermitteln, wie weit jeder Punkt der Landschaft von seinem Auge oder von einem anderen Punkte der Landschaft wirklich entfernt ist, sondern nur, ob er von dem ersten aus den Blick nach oben oder unten, nach rechts oder links wenden mufs, und welche Excursion sein Auge etwa machen mufs, um zu dem zweiten hinzugelangen. Das flächenhafte Bild wird von uns als ähnlich dem körperlichen Objecte anerkannt, wenn wir dieselben Bewegungen unseres Auges ausführen müssen, um von

einem zum andern Punkte des Bildes zu gelangen, welche nöthig wären, um die entsprechenden Punkte des Objects nach einander zu erblicken.

Es ist weiter ersichtlich, dafs wir auf diesem einfachen Wege auch die *Anordnungsweise* der Punkte in der scheinbaren Fläche des Gesichtsfeldes kennen lernen können, zunächst abgesehen von allen Gröfsenbestimmungen.

Was darunter zu verstehen ist, wird am leichtesten ersichtlich, wenn man sich ein flächenhaftes Bild auf eine dehnbare Kautschukplatte aufgetragen denkt. Diese kann man nachher beliebig ausrecken, und alle Längenverhältnisse zwischen ihren einzelnen Theilen, so wie die Winkel zwischen den einzelnen Linien der Gröfse nach beliebig ändern, doch wird trotz aller Veränderungen jede geschlossene Linie, die durch dieselbe Reihe von Punkten des Bildes gezogen ist, immer denselben unveränderlichen Satz von anderen Bildpunkten in sich einschliefsen und die andere Hälfte ausschliefsen, und in jeder continuirlichen linienförmigen Reihe von Punkten des Bildes wird die Reihenfolge der Punkte unverändert bleiben, so sehr auch die Gröfse und Form der einzelnen Theile einer solchen Linie sich verändert. Ebenso ist die Anordnungsweise der Punkte auf einer ebenen geographischen Karte und einem Erdglobus dieselbe, trotzdem dafs die Gröfsenverhältnisse auf der ebenen Karte nicht genau denen auf dem Globus entsprechen können, um so weniger, ein je gröfseres Stück der Erdoberfläche dargestellt ist.

Wenn wir zwei Flächen haben, und die Punkte der einen denen der anderen in einer festgesetzten Weise entsprechen, so nenne ich die *Ordnung der Punkte* auf beiden Flächen, gleichartig, so oft allen solchen Reihen von Punkten der ersten Fläche, die in einer continuirlichen Linie liegen, solche Punkte der anderen entsprechen, die ebenfalls in einer continuirlichen Linie liegen, und wenn die Reihenfolge der Punkte in der ersten Linie 535
dieselbe ist, wie die Reihenfolge der entsprechenden Punkte in der zweiten Linie.

Indem wir den Blick über das Gesichtsfeld schweifen lassen, finden wir unmittelbar in der Wahrnehmung, in welcher Ordnung die Objectpunkte im Gesichtsfelde aufeinander folgen, so dafs zunächst wenigstens die *Ordnung* der Punkte im Gesichtsfelde durch solches Herumblicken unmittelbar bestimmt werden kann.

Wie und in wie weit die Gröfsenverhältnisse durch das Augenmaafs bestimmt werden können, wollen wir nachher untersuchen. Hier ist zunächst nur noch zu bemerken, dafs wenigstens das Auge des Erwachsenen die Ordnung der Punkte im Gesichtsfelde nicht nur an Objecten bestimmt, über welche der Blick schweifen kann, sondern dafs wir ein bestimmt flächenhaft geordnetes Bild auch von solchen Objecten und Erregungen haben, die in Bezug auf unsere Netzhaut ihren Ort nicht wechseln und sich mit unserem Auge bewegen. Dies gilt für die Nachbilder, die Netzhautgefäfse, die Polarisationsbüschel und überhaupt für die meisten subjectiven Erscheinungen.

Wie wir auch das Auge bewegen mögen, immer wird derselbe Punkt eines solchen subjectiven Bildes dem Fixationspunkte entsprechen, und wir können nie verschiedene Theile des Bildes nach einander auf der Mitte unserer Netzhaut wechseln lassen. Daraus folgt, dafs wir im Stande sind, die Ordnung der gesehenen Punkte im Gesichtsfelde auch zu beurtheilen nach dem blofsen Eindruck, den das ruhende Netzhautbild auf die ruhende Netzhaut macht, ohne dafs wir nöthig haben, jedes einzelne Mal durch Bewegungen zu controlliren, welches die Reihenfolge der einzelnen Objectpunkte sei.

Um diese Thatsache zu erklären, kann die Annahme gemacht werden und ist von den Anhängern der *nativistischen Theorie* gemacht worden, dafs wir eine angeborene Kenntnifs der Ordnung der Netzhautpunkte auf unserer Netzhaut (und auch wohl der Gröfse ihrer Abstände) besitzen, welche uns unmittelbar in den Stand setzt, wahrzunehmen, welche Punkte des Netzhautbildes continuirlich aneinanderstofsen, welche nicht. Wenn eine solche Annahme gemacht wird, so ist damit natürlich jede weitere Erörterung über den Ursprung unserer flächenhaften Gesichtsbilder abgeschnitten.

Andererseits ist ersichtlich, dafs die Fähigkeit, auch ohne Bewegung des Auges die Ordnung der Objecte im Gesichtsfelde zu erkennen und zu beurtheilen, auch erworben sein kann, wie dies die *empiristische Theorie* der Gesichtswahrnehmungen annimmt. Denn jedes Mal, wo wir durch Bewegungen des Auges die Ordnung der Theile eines ruhenden Objects bestimmt haben, erhalten wir auch, so lange wir einen seiner Punkte ruhig fixiren, einen ruhenden Eindruck seiner verschiedenen Theile auf unsere Netzhaut, und können somit durch Erfahrung kennen lernen, wie zwei Punkte, die wir durch Bewegung des Auges als benachbart erkannt haben, sich im ruhenden Bilde des Auges darstellen, das heifst also, anatomisch gesprochen, wir können durch Erfahrung kennen lernen, welche Localzeichen der Gesichtsempfindungen benachbarten Netzhautfasern angehören, und wenn wir dies gelernt haben, werden wir im Stande sein, auch aus dem unveränderten
536 Eindruck eines relativ zum Auge ruhenden Objects die Anordnung der Punkte im Gesichtsfelde zu erkennen.

Wir werden also im Folgenden zu prüfen haben, ob ohne die Hypothese von der angeborenen Kenntnifs der Anordnung der Netzhautpunkte die Thatsachen sich erklären lassen aus den bekannten Fähigkeiten des Sinnengedächtnisses. Directe Versuche über diese Frage an neugeborenen Kindern lassen sich natürlich nicht anstellen, und die Erfahrungen an operirten Blindgeborenen ergeben hierüber so gut wie nichts, da diese operirten sogenannten Blinden fast immer Staarkranke waren, welche durch ihre getrübte Linse allerdings sehr wenig zu sehen, aber doch die Richtung des stärkeren Lichts noch zu erkennen im Stande waren, und also der Erfahrungen über die Localisation ihrer Netzhauteindrücke nicht ganz entbehrten. In dieser Beziehung würden Fälle von angeborener Verschliefsung der Pupille, die durch künstliche Pupillenbildung geheilt wurden, wo dergleichen vor-

kommen, viel wichtiger sein, als die Erfahrungen an operirten Staarkranken. Einige merkwürdige Fälle dieser Art sind am Ende dieses Abschnitts erwähnt.

Wir erkennen nun aber nicht blos die Ordnung der Objectpunkte im Gesichtsfelde in dem allgemeinen Sinne, wie es bisher besprochen ist, sondern wir erkennen auch bis zu einem gewissen Grade der Genauigkeit die Gröfsenverhältnisse der Linien und Winkel. Der Zeichner, welcher sich bemüht, den Eindruck der körperlichen Objecte durch ein flächenhaftes Bild wiederzugeben, darf nicht blos darauf ausgehen, die Punkte des Objects in der Reihenfolge auf seiner Zeichnung zu ordnen, wie unser Blick sie trifft, wenn er über sie hinschweift; er mufs auch streben, gewisse Gröfsenverhältnisse einzuhalten zwischen den Abständen der einzelnen Punkte, damit wir die flache Zeichnung dem körperlichen Objecte ähnlich finden, und wenn wir eine Zeichnung auf einem Kautschnkblatte ausführen und sie verschiedentlich ausrecken, so ändert sich ihr Anblick für unser Auge, trotzdem die Anordnung der Punkte in der Fläche dieselbe bleibt.

Um nun die auf die Beurtheilung der Gröfsenverhältnisse bezüglichen Thatsachen unzweideutig auseinandersetzen und ihrem Ursprunge nachforschen zu können, müssen wir noch einige Festsetzungen über die Flächen, auf welche wir uns die Bilder des Gesichtsfeldes projicirt denken wollen, vorausschicken.

Man braucht den Namen des Gesichtsfeldes in der Regel für die Erscheinung der vor uns liegenden Gesichtsobjecte, so lange man nicht auf ihre Entfernung von uns, sondern nur auf ihre scheinbare flächenhafte Anordnung neben einander achtet, ohne dabei bestimmt festzusetzen, ob die Objecte mit festgehaltenem oder mit schweifendem Blicke, oder vielleicht selbst mit Hülfe von Bewegungen unseres Kopfes und Körpers betrachtet werden sollen. In der nun folgenden Analyse unserer Wahrnehmungen wird es aber nöthig, diese verschiedenen Fälle von einander deutlich zu trennen. Der unbestimmte Name des Gesichtsfeldes mag beibehalten werden, wo es auf eine solche Unterscheidung des bewegten oder unbewegten Auges nicht ankommt, oder wo zusammengegriffen werden soll, was sowohl das bewegte, wie das unbewegte Auge wahrnimmt, wie wir denn auch mit dem Worte Gesicht den ganzen Sinn in allen seinen Anwendungen verstehen. 537
Dagegen habe ich schon im vorigen Paragraphen mit Blickfeld dasjenige Feld bezeichnet, über welches der Blick des bewegten Auges hinlaufen kann. Dem entsprechend betrachte ich das Blickfeld als eine Fläche, die fest mit dem Kopfe verbunden ist, mit diesem sich bewegt, und in welchem ein Punkt, der Blickpunkt oder Fixationspunkt von einem, beziehlich beiden Augen so betrachtet wird, dafs er sich auf dem Centrum der Netzhautgrube abbildet. Die Richtungen oben und unten, rechts und links werden im Blickfelde nach den entsprechenden Richtungen des Kopfes genommen. Ein Punkt des Blickfeldes ist ausgezeichnet dadurch, dafs er der Fixationspunkt des entsprechenden Auges in seiner Primärstellung ist; wir wollen ihn den

Hauptblickpunkt (primären Fixationspunkt) nennen. Den gerade gegenüber liegenden, hinter dem Kopfe des Beobachters gelegenen Punkt, welcher das andere Ende des nach dem Hauptblickpunkt gerichteten Durchmessers des Blickfeldes bildet, nennen wir, wie oben, den Occipitalpunkt. Im Kopfe bestimmt für unsere Zwecke die Verbindungslinie der Drehpunkte beider Augäpfel die horizontale Richtung von rechts nach links. Legen wir durch die genannte Verbindungslinie und den Hauptblickpunkt eine Ebene, so ist diese die horizontale Meridianebene des Blickfeldes, oder die Primärlage der Blickebene. Die übrigen Meridianebenen des Blickfeldes werden durch die Verbindungslinie des Hauptblickpunkts und des Drehpunkts des betreffenden Auges gelegt. Die Schnittlinien der Meridianebenen mit der imaginären Fläche des Blickfeldes sind die Meridiane dieses Feldes. Wenn beide Augen gebraucht werden, kann von Meridianebenen nicht gesprochen werden, aufser von der horizontalen, wohl aber von Meridianlinien, weil das Blickfeld so unendlich weit entfernt gedacht werden kann, dafs die Richtung der Ebenen, welche durch einen Punkt des Blickfeldes und die Gesichtslinie des einen oder andern Auges gelegt sind, nicht merklich verschieden ist.

Ruhende äufsere Objecte wechseln also ihren Platz im Blickfelde, wenn sich der Kopf bewegt; dieselbe Stelle des Blickfeldes wird nacheinander auf verschiedenen Stellen der Netzhaut abgebildet, wenn sich das Auge bewegt. Dagegen verlangt Fixation derselben Stelle des Blickfeldes unausbleiblich immer dieselbe Stellung des Auges im Kopfe, und dieselben Verkürzungen, beziehlich Verlängerungen der einzelnen Augenmuskeln, so dafs, wie wir vermuthen dürfen, jede Stelle des Blickfeldes mehr oder weniger genau bezeichnet ist durch die besonderen Innervationsgefühle und sonstige etwa vorhandenen Empfindungen der Nachbartheile des Auges, welche zu der betreffenden Stellung des Auges im Kopfe gehören.

Wir können das Blickfeld zum Zwecke seiner geometrischen Ausmessung als eine Kugelfläche von unendlich grofsem Radius betrachten, ähnlich dem Himmelsgewölbe, deren Mittelpunkt im Drehpunkte des Auges gelegen ist. Der Ort eines gesehenen Punktes im Blickfelde wird gefunden, wenn man durch ihn und den Drehpunkt des Auges eine gerade Linie legt und diese bis zur imaginären Fläche des Blickfeldes verlängert denkt. Wo sie die Fläche des Blickfeldes schneidet, ist der geometrische Ort des gesehenen Punktes im Blickfelde, den wir in vielen Fällen zu unterscheiden haben
538 werden von dem scheinbaren Ort im Blickfelde, an welchen wir das gesehene Object nach der Schätzung vermittels des Augenmafses verlegen.

Vom Blickfelde, das sich auf den bewegten Blick bezieht, unterscheiden wir das Sehfeld des Auges, welches wir uns mit dem Auge zugleich beweglich denken, so dafs jeder Punkt des Sehfeldes immer auf demselben bestimmten Punkte der Netzhaut abgebildet wird. Dafs durch veränderte Accommodation des Auges letzterer Punkt nicht wesentlich geändert werden kann, wird am Schlufs dieses Paragraphen gezeigt werden. Das Sehfeld ist

also gleichsam die nach aufsen projicirte Netzhaut mit ihren Bildern und ihren sonstigen Eigenthümlichkeiten. Nachbilder, der Gefäfsbaum, der blinde Fleck, der gelbe Fleck projiciren sich also immer in die gleichen Orte des Sehfeldes. Jeder Punkt des Sehfeldes ist deshalb bezeichnet in der Empfindung durch diejenigen Localzeichen derselben, welche den Empfindungen der entsprechenden Netzhautstelle angehören, und es ist schon früher hervorgehoben worden, dafs wir die locale Bestimmtheit der Empfindung irgend einer Sehnervenfaser sowohl in unseren eigenen Vorstellungen, als auch in der Mittheilung für andere gar nicht anders bezeichnen und aussprechen können, als indem wir die Stelle des Sehfeldes bezeichnen, der sie angehört.

Das Sehfeld selbst kann aber mit dem Blickpunkte seine Lage gegen das Blickfeld ändern. Um bestimmte Richtungen im Sehfeld festzusetzen, gehen wir von der Primärlage des Augapfels aus. In dieser Lage schneidet die horizontale Meridianebene des Blickfeldes das Sehfeld in einer Linie, die ich den horizontalen Meridian des Sehfeldes oder kürzer den Netzhauthorizont nennen werde. Die Meridianebenen des Sehfeldes sind durch die Hauptvisirlinie zu legen, das heifst, durch die Visirlinie, welche nach dem Blickpunkte hinläuft, und die wir wohl als mit der Blicklinie, das heifst dem Strahl, der vom Blickpunkt nach dem Drehpunkt des Auges läuft, zusammenfallend denken können, da auch der Mittelpunkt der Pupille (siehe S. 29) wie die Gesichtslinie etwas nach der Nasenseite des Auges abweicht. Der Ort eines jeden gesehenen Objects im Sehfelde wird bestimmt durch die Visirlinie, welche durch den betreffenden Objectpunkt gezogen und bis zur Fläche des Sehfeldes verlängert ist.

Für die wissenschaftliche geometrische Ausmessung des Sehfeldes ist es am vortheilhaftesten, auch dieses als eine mit dem Blickfelde concentrische Kugelschale zu betrachten. Dafs die scheinbare Lage der Punkte im Sehfelde der geometrischen Construction nicht entspricht, werden wir nachher freilich erfahren. Wir müssen demnach auch im Sehfelde einen geometrischen und einen scheinbaren Ort der Punkte unterscheiden, welcher letztere nach dem Augenmafse bestimmt wird.

Wenn sich das Auge bewegt, verschiebt sich die Kugelfläche des Sehfeldes gegen die des Blickfeldes. Gegeben ist die Lage des Sehfeldes mittels der im vorigen Paragraphen entwickelten Gesetze der Augenbewegungen, sobald die Lage des Blickpunktes, der im Sehfelde eine unveränderliche Stellung hat, im Blickfelde gegeben ist. Denkt man sich die Primärstellung des Blickpunkts und die zeitige Lage desselben durch einen gröfsten Kreis verbunden, so mufs, so weit die Augenbewegungen nach Listing's Gesetze erfolgen, der horizontale Meridian des Blickfeldes und 539
der Netzhauthorizont des Sehfeldes mit diesem Verbindungskreise gleiche Winkel machen.

Indem sich das Sehfeld gegen das Blickfeld verschiebt, bleibt der geometrische Ort für die Projectionen der einzelnen Objectpunkte in der

gemeinsamen Kugelfläche des Blickfeldes und Sehfeldes nicht ganz unverändert. Um den Ort im Sehfelde zu finden, müssen gerade Linien vom Kreuzungspunkte der Visirlinien nach den Objectpunkten gezogen werden. Da nun der Kreuzungspunkt der Visirlinien etwa 3 Millimeter hinter der Hornhaut und 12,9 Millimeter vor dem Drehpunkte liegt, so verändert er seine Lage bei Drehungen des Auges, und dadurch wird die Richtung der Visirlinien ein wenig geändert. Indessen ist diese Aenderung verhältniſsmäſsig sehr unbedeutend für Objectpunkte, die dem Auge nicht ziemlich nah sind. Die Rechnung ergiebt, daſs die scheinbaren Verschiebungen der Objecte bei Bewegungen des Auges, welche 10 Grade nicht übersteigen, kleiner sind als die Ungenauigkeit der Bilder in dem für unendliche Ferne accommodirten Auge, und also der Regel nach unter der Ungenauigkeit der Accommodation verschwinden werden. Nur bei sehr nahen Objecten und bei ausgedehnten Bewegungen des Auges werden solche Verschiebungen merklich. Wenn man zum Beispiel nahe vor das Auge einen Bleistift hält, dessen Dicke der Breite der Pupille etwa gleich kommt, und sich dadurch eine Lichtflamme vollständig verdeckt, so kann man die Lichtflamme im indirekten Sehen wahrnehmen, wenn man das Auge stark nach der Seite wendet. Dann verschiebt sich das Zerstreuungsbild des nahen Bleistiftes so stark bei der seitlichen Bewegung des Auges, daſs es nun die Lichtflamme nicht mehr verdeckt. Diese Methode ist mitunter vortheithaft anzuwenden, wenn man ermitteln will, was man im indirekten Sehen erkennen kann, weil man hierbei das Object direct zu sehen gar nicht im Stande ist.

Sobald also nur ferne Objecte im Gesichtsfelde sind, die alle zugleich von dem für die Ferne accommodirten Auge ohne merkliche Undeutlichkeit gesehen werden können, so sind die Verschiebungen ihrer Projectionen in das Blickfeld verschwindend klein, und man kann den geometrischen Ort der betreffenden Objecte im Blickfelde als unabhängig von den Bewegungen des Auges betrachten.

Unter der angegebenen Einschränkung ist das Blickfeld die äuſsere Projection eines unveränderlichen Netzhautbildes, das Sehfeld das der Netzhaut selbst. Das Blickfeld und Sehfeld verschieben sich bei den Bewegungen des Auges gegen einander, wie das Netzhautbild der äuſseren Objecte und die Netzhaut selbst. Ich ziehe es vor, in der folgenden Darstellung die beiden auſser unserem Auge liegenden Flächen an die Stelle der Netzhaut und des Netzhautbildes treten zu lassen, weil jene ein richtigerer Ausdruck unseres thatsächlichen Bewuſstseins sind, und weil bei der directen Eintragung aller Orte in die beiden Kugelfelder die Zweideutigkeit des Ausdrucks vermieden wird, die bisher so oft in die Irre geführt hat, als wüſsten wir etwas von unserer Netzhaut, deren Gröſse und Ausdehnung, wenn gesagt wird, daſs wir die Lage der Objecte vor uns beurtheilen nach der Stelle der Netzhaut, welche getroffen wird. Es ist übrigens ganz gleichgiltig für alle Constructionen,
540 die an den Kugelflächen gemacht werden, wie groſs wir ihren Radius nehmen, nur müssen wir bei endlichem Radius die Visirlinien ersetzen durch Linien,

die ihnen parallel durch den Drehpunkt des Auges gehen. So können wir den Radius der Kugelflächen auch negativ nehmen, das heifst die Kugelflächen hinter den Drehpunkt legen, wo die Netzhaut und das Netzhautbild liegen. Wir können eine solche Kugelfläche, welche in der Gegend der wirklichen Netzhaut liegt, eine ideelle Netzhaut nennen, auf der ein ideelles Netzhautbild liegt. Man mufs aber nicht glauben, dafs eine solche schematische Netzhaut der wirklichen in ihren Dimensionen anders als in sehr grober Annäherung entspricht. Die wirkliche Netzhaut hat eine ellipsoidische Form, und das Netzhautbild der äufseren Gegenstände auf ihr ist jedenfalls durch die Asymmetrien des brechenden Apparats mannigfach verzogen. Auch halte ich für mein Theil für wahrscheinlich, dafs es ganz gleichgiltig für das Sehen ist, welche Gestalt, Form und Lage die wirkliche Netzhaut hat, welche Verzerrungen das Bild auf ihr erleidet, wenn es nur überall scharf ausgeprägt ist, und weder die Form der Netzhaut noch die des Bildes im Laufe der Zeit sich merklich verändert. Im natürlichen Bewufstsein des Sehenden existirt die Netzhaut gar nicht. Weder durch die Hilfsmittel der gewöhnlichen Empfindung, noch selbst durch wissenschaftliche Versuche sind wir im Stande, von den Dimensionen und der Lage und Form der Netzhaut des lebenden Auges irgend etwas zu erfahren, aufser was wir an ihrem optischen Bilde, welches die Augenmedien nach aufsen entwerfen, ermitteln können. Nur durch die Augenmedien hindurch verkehrt die Netzhaut der Regel nach mit der Aufsenwelt, und existirt für diese auch gleichsam nur so, wie sie in ihrem optischen Bilde erscheint. Der Repräsentant dieses optischen Bildes ist das von uns definirte Sehfeld.

Wenn zwei helle Punkte im Sehfelde vorhanden sind bei fester Stellung des Auges, so werden zwei verschiedene Sehnervenfasern durch deren Licht erregt und es entstehen zwei Empfindungen, die durch eigenthümliche Localzeichen von einander unterschieden sein müssen, da wir sie in der Empfindung zu unterscheiden im Stande sind. Welcher Stelle der Netzhaut diese Localzeichen angehören, wissen wir von vorn herein ebenso wenig, als wo die Sehnervenfasern liegen, die sie leiten, und zu welchen Stellen des Gehirns
die Erregung fortgeleitet wird. Wir können uns darüber nur durch wissen- n
schaftliche Untersuchungen Aufschlufs verschaffen; hinsichtlich des den Sehnerven und das Gehirn betreffenden Theiles der Frage sind wir dabei bis
jetzt noch nicht über die ersten einleitenden Schritte hinausgekommen. Wohl 540
aber wissen wir durch tägliche Erfahrung, wie wir den Arm ausstrecken müssen, um einen oder den andern hellen Gegenstand entweder zu berühren oder unserem Auge zu verdecken. Wir können also direct durch solche Bewegungen die Richtung im Sehfelde ermitteln, wo sich die Objecte befinden, und wir lernen direct die besonderen Localzeichen der Empfindung zu verbinden mit dem Orte im Sehfelde, in den das Object gehört. Dies ist auch der Grund, warum wir die Gegenstände trotz ihrer umgekehrten Netzhautbilder aufrecht sehen. Die Netzhautbilder kommen bei der Localisation der Objecte eben gar nicht in Betracht; sie sind nur Mittel, die Lichtstrahlen

541 je eines Punktes des Gesichtsfeldes auf je eine Nervenfaser zu concentriren. Wir hätten gerade ebenso viel Recht, uns darüber zu wundern, warum die Buchstaben eines gedruckten Buches nicht von rechts nach links verkehrt sind, da ja doch die metallenen Lettern, mit denen es gedruckt ist, verkehrt sind.

Es ist also richtiger zu sagen: „wir empfinden, an welchem Orte des Sehfeldes ein Object erscheint", als zu sagen: „wir empfinden den Ort der Netzhaut, auf dem es abgebildet ist". Dies letztere hat einen richtigen Sinn, insofern darunter nur gemeint ist, daſs gewiſse Eigenthümlichkeiten der Empfindung, nämlich ihre Localzeichen, eigenthümlich sind denjenigen Empfindungen, die durch einen bestimmten Ort der Netzhaut uns zugeleitet werden, und für die wissenschaftliche Untersuchung würden wir die localen Verhältnisse der Empfindung auch durch den Ort der Netzhaut, auf den das Licht fällt, charakterisiren können. Der Ausdruck erregt aber immer das Miſsverständniſs, daſs wir beim natürlichen Sehen irgend eine Art verborgener Kenntniſs von der wirklichen Existenz und Lage der Netzhautstelle haben müſsten, zu welcher Behauptung mir gar kein Grund vorzuliegen scheint.

Es ist schon früher hervorgehoben worden, daſs diese Verbindung zwischen den localen Unterschieden der Empfindung und der Richtung im Sehfelde so ausschlieſslich ist, daſs wir gar kein Mittel haben, die locale Bestimmtheit unserer Empfindungen weder in unserem eigenen Bewuſstsein, noch in der Mittheilung für andere anders zu bezeichnen, als indem wir die Stelle des Sehfeldes angeben, auf die sich die Empfindung bezieht.

Nachdem wir diese Definition festgestellt haben, können wir uns zu der Untersuchung wenden, wie weit unsere Fähigkeit reicht, Gröſsenverhältnisse im Gesichtsfelde zu beurtheilen, und welchen Täuschungen wir dabei ausgesetzt sind. Jede genauere Vergleichung zweier Raumgröſsen, Linien, Winkel oder Flächen im Gesichtsfelde nimmt Augenbewegungen zu Hilfe. Wir wollen zunächst untersuchen, was wir mit Hilfe solcher Bewegungen erreichen können, und später, wie sich die Ausmessungen verändern, wenn wir die Augenbewegungen ausschlieſsen. Ich wähle diese Ordnung, weil mir die Abmessungen mit Augenbewegungen, wie sie die genaueren sind, so auch die ursprünglicheren zu sein scheinen.

Ueber die Genauigkeit in der Vergleichung nahe gleicher Abstände im Gesichtsfelde sind von FECHNER[1] und VOLKMANN Versuche angestellt worden. Ersterer hat einen Zirkel auf Distanzen von 10, 20, 30, 40 und 50 halbe Pariser Decimallinien eingestellt, und die Spitzen eines zweiten Zirkels nach dem Augenmaaſs in dieselbe Distanz gebracht, wobei beide Zirkel, bis auf die Spitzen verdeckt in deutlicher Sehweite, 1 Pariser Fuſs vom Auge entfernt, vor ihm neben einander auf dem Tische lagen. Nach jeder Einstellung wurde der Fehler derselben bestimmt. VOLKMANN hing neben

[1] FECHNER, *Psychophysik*. Bd. I. S. 211—236. Andere auch von HEGELMAYER in *Vierordts Archiv* XI, 841—853.

ıander drei durch Gewichte gespannte Fäden in verticaler Richtung und rizontal gegen einander verschiebbar auf, und machte nach dem Augenıafse ihre Abstände gleich, welche wechselten zwischen 10 und 240 Milli- 549
ıter, wobei sein Auge 800 Millimeter von den Fäden entfernt war. Die ımme der bei den unter gleichen Umständen gemachten Versuchsreihen geıchten Fehler wurde genommen, wobei vom Sinne der Fehler abgesehen ırde, und diese Summe durch die Zahl der Beobachtungen dividirt; so hielt er den **mittleren Fehler**, der bei diesen Versuchen stets nahehin n gleichen Bruchtheil der ganzen verglichenen Länge ausmachte. Die öfse dieses mittleren Fehlers betrug im Mittel aus allen Beobachtungen Bruchtheilen der ganzen Länge der verglichenen Linien

| | |
|---|---|
| bei FECHNER | $\frac{1}{62,1}$ |
| bei VOLKMANN, frühere Versuche | $\frac{1}{88,0}$ |
| bei demselben, spätere Versuche | $\frac{1}{101,1}$ |

Es zeigte sich demnach für diese Beobachtungen das von WEBER aufstellte und von FECHNER verallgemeinerte psychophysische Gesetz gültig, lches wir schon bei der Untersuchung über die Abhängigkeit der Stärke r Lichtempfindung von der objectiven Helligkeit kennen gelernt haben, nach die unterscheidbaren Unterschiede der Empfindungsgröfsen der sammten Gröfse des Empfundenen proportional sind.

Andere Versuche wurden mit viel kleineren mikrometrisch zu messenden stanzen von VOLKMANN und einem seiner Schüler angestellt. Die stanzen waren durch drei feine parallele Silberfäden, von 0,445 Millimeter cke und 11 Millimeter Länge bestimmt, welche durch Mikrometerırauben verschoben werden konnten. Sie wurden ebenfalls so eingestellt, fs ihre Entfernung, wechselnd von 0,2 bis 1,4 Millimeter nach dem ıgenmaafs gleich gemacht wurde. Die Fehler nahmen in diesem Falle nicht ıhr proportional den gemessenen Distanzen ab, sondern näherten sich einer teren Grenze, wie zu erwarten war, da bei so kleinen Distanzen die ınauigkeit in der Unterscheidung kleinster Theile des Gesichtsfeldes, ılche von der Feinheit der Netzhautelemente abhängt, mit in Betracht mmen mufs. Der mittlere Fehler $\Delta$ konnte aber dargestellt werden als Summe eines constanten und eines dem Abstande $D$ der Fäden prortionalen Gliedes, nach der Formel

$$\Delta = v + WD$$

ırin $v$ und $W$ zwei Constanten bezeichnen. Es ergaben sich hierbei ducirt auf 340 Millimeter Sehweite folgende Werthe dieser Constanten

| | $v$ in Millimetern | $W$ |
|---|---|---|
| VOLKMANN horizontale Abstände | 0,008210 | $\frac{1}{79,1}$ |
| Derselbe verticale Abstände | 0,007319 | $\frac{1}{45,1}$ |
| APPEL horizontale Abstände | 0,005331 | $\frac{1}{164,5}$ |
| Derselbe ebenso später | 0,008548 | $\frac{1}{85,3}$ |

543 Die Werthe von $W$ zeigen, dafs die Vergleichung verticaler Abstände viel unvollkommener ist, als die Vergleichung horizontaler. Dasselbe beobachtet man übrigens auch sogleich, wenn man eine Reihe verticaler und horizontaler Linien auf Papier zieht und sie nach dem Augenmaafse zu halbiren sucht, und dann die abgetheilten Längen mit dem Maafsstab vergleicht. Die Fehler in der Halbirung verticaler Linien werden im Allgemeinen viel gröfser, als die von horizontalen. Wenn man sich selbst beobachtet bei der Vergleichung zweier Abstände oder zweier gerader Linien, so findet man, dafs kleine Unterschiede nur bemerkt werden, wenn man nach einander den Fixationspunkt bald in die Mitte der einen, bald in die Mitte der andern Linie bringt, sodafs die beiden Linien nach einander auf denselben Theilen der Netzhaut abgebildet werden. Bei festgehaltenem Fixationspunkte läfst man manches als gleich durchgehen, was sich sogleich als verschieden zu erkennen giebt, wenn man mit der Richtung des Blicks in der angegebenen Weise wechselt.

Sehr viel schwieriger erweist sich die Vergleichung von horizontalen Längen mit verticalen, und es zeigt sich dabei ein constanter Fehler, indem wir nämlich geneigt sind, verticale Linien für länger zu halten als gleich lange horizontale. Man sieht dies am besten, wenn man sich bemüht, nach dem Augenmafse ein Quadrat zn zeichnen auf einem Papiere, welches man senkrecht gegen die Gesichtslinie hält. Man macht die Höhe immer zu niedrig, und zwar, wie ich bei mir selbst finde, um $^1/_{30}$ bis $^1/_{60}$ der Grundlinie, im Mittel etwa um $^1/_{40}$; doch scheint dieses Verhältnifs in verschiedenen Augen sehr zu variiren, WUNDT[1] giebt die Gröfse dieser Differenz an auf ein Fünftheil.

VOLKMANN[2] hat auch Versuche angestellt über die Fehlergröfsen, welche bei Schätzung des Verhältnisses zweier nicht gleichen Distanzen begangen wurden. Der Beobachter stellte eine bewegliche Linie zwischen zwei andern ein auf $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$, $^4/_{10}$, $^5/_{10}$ der ganzen Entfernung. Dabei zeigten sich erstens Abweichungen zwischen dem Mittel aller Einstellungen für ein gewisses Gröfsenverhältnifs und der wirklich richtigen Einstellungen, welche VOLKMANN constante Fehler nennt, und zweitens Abweichungen von dem

[1] W. WUNDT, *Vorlesungen über Menschen- und Thierseele*, S 255. Leipzig, 1863.
[2] A. W. VOLKMANN, *Berichte der Kön. Sächs. Ges.* vom 7. August 1858.

Mittel der Einstellungen oder variable Fehler. Die constanten Fehler machten die links liegende Distanz immer etwas zu grofs im Verhältnifs zur rechts liegenden. Als die zu theilende Gröfse eine Pariser Linie war, betrug der Werth der constanten Fehler in Tausendtheilen einer Linie im Mittel aus je 40 Versuchen:

Constanter Fehler, aus je 40 Versuchen berechnet.

| Ausgangspunkt von | Geforderte Verhältnisse. | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| Links | 13,4 | 19,8 | 6,7 | 11,7 | 8,4 | 13,4 | 24,8 | 10,0 | 6,8 |
| Rechts | —10,8 | — 9,3 | —20,0 | —12,0 | — 6,2 | — 4,5 | — 9,5 | —19,7 | —19,4 |
| Unten | + 2,9 | + 2,9 | —12,1 | — 5,9 | —13,5 | — 2,2 | + 7,2 | + 5,1 | +11,6 |
| Oben | — 5,0 | — 4,7 | — 6,0 | + 8,9 | + 9,7 | +18,6 | —17,4 | — 7,3 | —10,8 |

In den beiden oberen Reihen lag die zu theilende Distanz horizontal, 544
in den beiden unteren vertical. Als Ausgangspunkt ist das Ende derselben angegeben, von wo der abzumessende Theil angefangen wurde abzumessen.

Die variablen Fehler wurden nach ihrer absoluten Gröfse ohne Rücksicht auf das Vorzeichen addirt und dann durch die Anzahl der Beobachtungen dividirt. Es ergaben sich nahehin gleiche mittlere Gröfsen derselben für complementäre Verhältnisse. Ihre Gröfse war im Mittel von je 160 Beobachtungen (für 0,5 nur 80 Beobachtungen)

Mittelwerthe der variablen Fehler.

| Zu theilende Distanz | Gefordertes Verhältnifs | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0,1 und 0,9 | 0,2 und 0,8 | 0,3 und 0,7 | 0,4 und 0,6 | 0,5 |
| Horizontal | 6,73 | 4,36 | 3,01 | 2,64 | 1,11 |
| Vertical | 7,09 | 9,01 | 9,95 | 8,61 | 7,98. |

Absolut gröfser, aber relativ etwas kleiner wurden die Fehler in einer anderen Versuchsreihe, wo der ganze zu theilende Abstand 100 Millimeter betrug, und die Grenzen der betreffenden Abstände durch drei feine von dem Maafsstabe herabhängende Menschenhaare angezeigt waren. Die Gröfsen sind in Zehntelmillimetern angegeben, sodafs die Einheit wieder ein Tausendtheil der zu theilenden Gröfse beträgt.

Constante Fehler.

| Ausgangspunkt von | Gefordertes Verhältnifs | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| Links | 2,35 | 7,45 | 0,5 | 10,7 | 4,15 | 12,4 | 11,3 | 0,85 | 4,10 |
| Rechts | —1,8 | +0,6 | —11,1 | — 5,2 | —4,0 | — 7,5 | — 5,5 | —4,4 | —2,8 |

Mittelwerthe der variablen Fehler.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Für | den | Bruch | 0,1 | und | 0,9 | = 2,6 |
| „ | „ | „ | 0,2 | „ | 0,8 | = 5,6 |
| „ | „ | „ | 0,3 | „ | 0,7 | = 7,9 |
| „ | „ | „ | 0,4 | „ | 0,6 | = 6,5 |
| „ | „ | „ | 0,5 | | | = 2,8. |

Wenn nun nicht blos gleiche Entfernungen als gleich erkannt, sondern ungleiche Entfernungen ihrem Gröfsenverhältnifs nach erkannt werden sollen, so ist es nöthig, diejenige Linie zwischen den Endpunkten der gegebenen Entfernung zu bestimmen, welche als Maafs der Entfernung zu benutzen ist. In der Ebene ist dies die gerade Linie. Im Blickfelde, als einer gekrümmt erscheinenden Fläche, können gerade Linien nicht gezogen werden, und selbst um kürzeste Linien auf der Fläche zu ziehen, müfsten wir eine genaue Anschauung von der Krümmung der Fläche des Blickfeldes mitbringen, die wir nicht bestimmt genug haben. Wenn man sich das Blickfeld als eine Kugelfläche vorstellt, deren Mittelpunkt der Drehpunkt des Auges ist, wie dies zum Zwecke wissenschaftlicher geometrischer Erörterungen gewöhnlich geschieht, so könnte man vermuthen, dafs objectiv gerade Linien der Aufsenwelt, die sich als gröfste Kreise in das kugelförmige Blickfeld
545 projiciren, als kürzeste Linien, als Linien ohne Krümmung in dem Gesichtsfelde erscheinen müfsten. Das ist aber nur unter gewissen Bedingungen der Fall.

Wenn wir eine gerade Linie betrachten, zum Beispiel die Kante eines Lineals, und durch das Augenmaafs zu ermitteln suchen, ob sie wirklich gerade oder gekrümmt sei, so zeigt sich das Urtheil nach der schon im vorigen Paragraphen erwähnten Täuschung abhängig von der Richtung des Auges im Kopfe. Halten wir das Lineal horizontal und zu niedrig, so erscheint die Kante nach oben concav; halten wir es zu hoch, so erscheint sie nach unten concav. Dafs dabei eine Augentäuschung stattfindet, erkennt man schnell, wenn man das Lineal so umwendet, dafs die Kante statt nach oben nun nach unten sieht. Dann müfste eine wirklich nach unten concave Kante jetzt nach oben concav sein, und umgekehrt. Aber wenn das Lineal richtig und gerade ist, bleibt die Augentäuschung bestehen. Hält man das Lineal aber so, dafs die Mitte seiner Kante der Primärstellung entspricht, so erscheint diese gerade, wenn sie wirklich gerade ist. Nun wählt man allerdings durch einen natürlichen Trieb die Primärstellung, wenn man über eine solche Frage durch das Augenmaafs entscheiden soll, doch ist die Sicherheit, mit der man diese Stellung einhält, nicht sehr grofs. Dagegen finde ich, dafs ich ziemlich geringe Krümmungen von Linealen in der Primärstellung erkennen kann, wenn ich das Lineal umwende, so dafs ich bald die eine, bald die andere Fläche desselben gegen mich kehre. Auf diese Weise konnte ich bei einem Elfenbeinlineale von 200 Millimeter Länge, welches convex war und dessen Krümmung in der Mitte nur 0,35 Millimeter von der

raden Linie nach aufsen bauchte, dessen Krümmungsradius demnach etwa Meter betrug, die Krümmung mit dem Auge richtig erkennen, ebenso i einem anderen concaven Lineale, welches in der Mitte ein halbes Millitter abwich. So genaue Bestimmungen sind aber nicht bei fixirtem Blicke, ndern nur mit Hilfe der Augenbewegungen möglich.

Wir sind ferner im Stande, mit grofser Genauigkeit zu entscheiden, ob rade Linien einander parallel sind oder nicht. Um das zu ermitteln, lassen r den Blick an einer von ihnen, oder in der Mitte zwischen ihnen hin d hergeben, und erkennen dann mit ziemlich grofser Genauigkeit, ob ihr stand nach dem einen Ende hin ebenso grofs, oder ob er gröfser ist als ı andern Ende. So sind wir ferner auch mit verhältnifsmäfsig grofser Sicherit im Stande zu erkennen, dafs zwei Winkel, deren Schenkel einander rallel gerichtet sind, einander gleich grofs sind, weil wir eine kleine Abichung vom Parallelismus der Schenkel leicht erkennen und daraus dann f Ungleichheit der Winkel schliefsen. Nach Versuchen von E. MACH[1] schieht die Beurtheilung des Parallelismus genauer für horizontale und rticale Linien als für geneigte. Dagegen ist die Vergleichung solcher inkel, deren Schenkel nicht parallel mit einander sind, nicht nur sehr sicher, sondern auch ziemlich regelmäfsigen constanten Fehlern unterworfen.

Verhältnifsmäfsig die einfachste Aufgabe dieser Art ist, zu entscheiden, ein Winkel seinem Nebenwinkel gleich und also ein rechter sei. Wenn n zwei sich rechtwinkelig kreuzenden geraden Linien die eine horizontal, die 546
dere vertical ist, so erscheinen für das rechte Auge der meisten Individen die nach rechts oben und links unten liegenden rechten Winkel wie umpfe, die beiden andern wie spitze Winkel. Für das linke Auge umkehrt erscheinen die dem rechten Auge stumpf erscheinenden Winkel spitz, spitzen stumpf. Dabei ist zu beachten, dafs man beide Augen nach ander senkrecht gegen die Fläche der Zeichnung auf den Kreuzungspunkt r Linien einstellen mufs. Versucht man dagegen nach dem Augenmaafse einer gegebenen Horizontallinie eine Verticale zu ziehen, so weicht deren eres Ende um etwa einen Grad nach rechts herüber, wenn man mit dem chten Auge sehend die Zeichnung gemacht hat, und nach links, wenn es t dem linken Auge geschah. So stellt *Fig. 212* (auf S. 688) ein für mein rechtes ge scheinbar richtiges rechtwinkeliges Kreuz der Linien *a b* und *c d* vor, hrend die Linienstücke $\gamma$ und $\delta$ die Lage der wirklich richtigen Verticalen zeichnen. Sehe ich mit dem linken Auge dieselbe Zeichnung an, so scheint mir das obere Ende von *c d* im Gegentheil übertrieben nach rechts neigt.

Die Gröfse des Irrthums, den man betreffs der rechten Winkel begeht, ngt von der Neigung ihrer Schenkel gegen den Netzhauthorizont ab. h sehe rechte Winkel richtig mit dem rechten Auge, wenn das obere de des einen Schenkels um etwa 18 Grad von der Verticale nach links

[1] E. MACH. *Sitzungsber. d. K. K. Akad. zu Wien*, 1861, Bd. XLIII. 215—224.

abweicht, mit dem linken Auge, wenn es um etwa ebenso viel nach rechts abweicht. Dagegen erscheint der Unterschied am gröfsten, wenn die Schenkel um 45 Grad von der zuletzt genannten Lage aus gedreht werden, wobei die nach rechts und links geöffneten Winkel etwa wie Winkel von 92°, die nach oben und unten gekehrten wie 88° erscheinen.

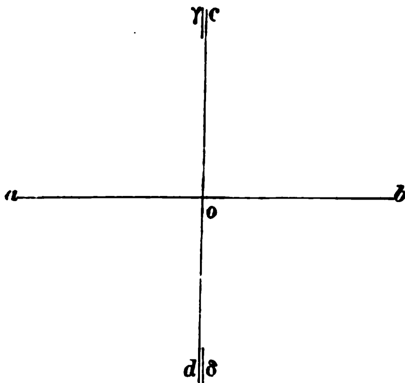


Fig. 212.

Wenn der eine Schenkel horizontal liegt, erscheinen als rechte Winkel für meine Augen solche von 91°,2 und 88°,8; bei VOLKMANN[1] beträgt der für das linke Auge 91°,1, für das rechte 90°,6; doch hat letzterer Beobachter bei diesen Versuchen nicht ein Kreuz beobachtet, sondern eine einzelne Linie bald horizontal, bald vertical zu stellen gestrebt; die einzelnen Beobachtungen sind dabei je 60 Mal wiederholt worden.

Ebenso finde ich, dafs man auffallend grofse Fehler macht, wenn man einen Winkel von 30 bis 45 Grad zeichnet, dessen einer Schenkel horizontal liegt, und sich dann bemüht nach dem Augenmaafse eine dritte, der Verticalen nähere Linie durch den Scheitel des genannten Winkels zu ziehen, so dafs ein zweiter Winkel entsteht, der jenem ersten gleich sei. Man macht diesen zweiten regelmäfsig beträchtlich zu grofs. Wenn der erste Winkel
547 30° betrug, machte ich den zweiten gröfser als 34°, gleichviel ob ich mit dem rechten oder linken Auge hinsah, und ob der Winkel sich nach rechts oder links öffnete. Drehte ich die Figur aber so, dafs der zuletzt gezeichnete Schenkel nun horizontal lag, so erschien der Gröfsenunterschied übertrieben.

Dahin gehört auch die Thatsache, dafs in einem richtig gezeichneten gleichseitigen Dreieck, dessen eine Seite horizontal liegt, der Winkel an der Spitze immer kleiner erscheint, als die Winkel an der Basis.

Fragen wir nun, wie ist es überhaupt möglich, dafs Raumgröfsen, die verschiedenen Theilen des Sehfeldes angehören, mit einander verglichen werden können, so lehren uns die oben erwähnten Selbstbeobachtungen schon eine Methode der Vergleichung, so oft besagte Raumgröfsen so liegen, dafs sie nach einander auf demselben Theile der Netzhaut, und zwar am besten auf ihrer Mitte, so abgebildet werden können, dafs ihre entsprechenden Punkte nach einander auf dieselben Punkte der Netzhaut fallen. In der That ist dies das Verfahren, welches wir anwenden, um nach dem Augenmaafse zum Beispiele die Länge zweier geraden Linien $A$ und $B$, die einander parallel sind, zu vergleichen. Wir richten den Blick erst auf die

[1] A. W. VOLKMANN, *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.* Heft 2. S. 224 u. 225. Leipzig, 1864.

Mitte von $A$, dann auf die Mitte von $B$, dann wieder von $A$ und so fort, und suchen zu ermitteln, ob wir in beiden Fällen ganz denselben Eindruck erhalten, d. h. ob dieselben Netzhautpunkte in derselben Erstreckung von den Bildern beider Linien getroffen werden. Dabei brauchen wir offenbar von der Form und Länge des Bildes auf der Netzhaut nichts zu wissen. Die Netzhaut ist wie ein Zirkel, dessen Spitzen wir nach einander an die Enden verschiedener Linien ansetzen, um zu sehen, ob sie gleich lang sind, oder nicht, wobei wir über die Entfernung der Zirkelspitzen und die Form des Zirkels nichts weiter zu wissen brauchen, als dafs sie unverändert geblieben sind.

Ein Unterschied aber ist zwischen der Vergleichung mittels der Netzhaut und der mittels des Zirkels. Die Verbindungslinie der Zirkelspitzen können wir nach jeder Richtung hinwenden, das können wir aber dem Gesetze der Augenbewegungen zufolge nicht thun mit der Verbindungslinie je zweier Netzhautpunkte, wenn wir nicht ausgiebige Bewegungen mit dem Kopfe machen wollen, welche wegen der damit verbundenen gröfseren Anstrengung lange nicht so häufig und so schnell wechselnd gemacht werden können, und wenn sie gemacht werden, meist eine wesentliche Veränderung des Gesichtspunkts, des Ortes unseres Auges im Raume und somit der ganzen perspectivischen Ansicht zu Folge haben. Wenn $ab$ und $\alpha\beta$ zwei Paare von Punkten im Gesichtsfelde sind, deren Entfernung verglichen werden soll, und ich etwa zuerst $a$ fixirt habe, so dafs sich $a$ auf dem Centrum der Netzhautgrube $A$, und der Punkt $b$ auf dem Netzhautpunkte $B$ abgebildet hat, wenn ich dann das Auge wende und $\alpha$ fixire, so dafs $\alpha$ auf dem Centrum der Netzhaut $A$ abgebildet ist, so wird der Netzhautpunkt $B$ bei der neuen Stellung der Gesichtslinie eine ganz bestimmte Lage haben, die ich ohne Bewegung des ganzen Kopfes nicht willkürlich ändern kann, und die Richtung der Linie $\alpha\beta$ im Gesichtsfelde mufs eine ganz bestimmte sein, damit sich $\beta$ auf $B$ abbilden kann.

Wenn $a$, $b$, $\alpha$ und $\beta$ nahe genug dem Hauptblickpunkte liegen, dafs wir das sie umschliefsende Stück des Gesichtsfeldes als Ebene betrachten 548
können, so können die Linien $ab$ und $\alpha\beta$ nach einander auf denselben Netzhautpunkten nur dann abgebildet werden, wenn sie einander parallel sind. Eben deshalb können nun die Längen zweier paralleler Linien gut und sicher miteinander verglichen werden, während wir bei der Vergleichung nicht paralleler Linien, selbst wenn sie einander nahe liegen, grofsen Irrthümern ausgesetzt sind.

In derselben Weise kann, wie schon oben angeführt ist, der Parallelismus zweier Linien durch die Gleichheit ihrer Abstände an allen Stellen, und die Gleichheit von Winkeln mit parallelen Schenkeln gut beurtheilt werden.

Wenn nun eine Linie im Gesichtsfelde als gerade anerkannt werden soll, und sie geht durch den Hauptblickpunkt, so können wir, indem wir das Auge an ihr hingleiten lassen, ebenfalls ihre einzelnen Theile alle nach einander auf derselben Linie der Netzhaut abbilden. Wir haben im vorigen

Paragraphen gesehen, dafs wenn wir von einem geraden Linienstück, welches den Hauptblickpunkt schneidet, ein Nachbild entwickeln und den Blick in Richtung des Meridians wandern lassen, in welchem jenes Linienstück liegt, das Nachbild immer mit jenem Meridiane zusammenfällt. Das Nachbild bezeichnet bei jenen Versuchen die Projectionen jener Netzhautstellen in das Gesichtsfeld, welche den Eindruck des linienförmigen Objectes empfangen haben, und es folgt aus diesem Versuche, dafs alle Theile eines solchen Meridians nach einander auf denselben Netzhautpunkten abgebildet werden können.

Indem also das Auge einem solchen Meridiane des Sehfeldes folgt, verschiebt sich die entsprechende Linie des Netzhautbildes auf der entsprechenden Linie der Netzhaut selbst, indem beide fortdauernd congruent zusammenfallen, und vor dem Auge verschiebt sich das Sehfeld gegen das Blickbild so, dafs der betreffende Meridian des Sehfeldes sich in dem des Blickfeldes und stets mit ihm zusammenfallend verschiebt.

Dergleichen Linien im Blickfelde, deren Bild sich in sich selbst verschiebt, sind nun auch die im vorigen Paragraphen (Seite 651) erwähnten *Directionskreise* oder *Richtkreise*, welche alle durch den *Occipitalpunkt* des Blickfeldes hindurchgehen. Dort ist nachgewiesen worden, dafs, wenn ein linienförmiges Nachbild bei Fixirung eines Punktes eines solchen Richtkreises mit seiner Richtung congruirt, es auch in allen anderen Punkten mit ihm congruirt. Da das Nachbild auf der Netzhaut festliegt, so wird dadurch auch constatirt, dafs die Linienelemente eines solchen Richtkreises sich, wenn wir ihn mit dem Blicke durchlaufen, fortdauernd auf derselben Netzhautlinie abbilden.

Dafs ein linienförmiges Nachbild von geringer Länge mit denjenigen andern Directionskreisen congruirt, welche im Occipitalpunkte dieselbe Tangente haben, ist ebenfalls an der citirten Stelle schon bemerkt worden.

Durch die erwähnten Eigenthümlichkeiten bekommen nun die Richtkreise für das Auge eine ganz besondere Bedeutung. Die gerade Linie in der Ebene zeichnet sich dadurch vor allen anderen aus, dafs jedes Stück derselben jedem anderen Stücke congruent ist, wie man die beiden auch zusammenlegen mag. Die Eigenschaft der Congruenz jedes Theils mit jedem andern Theile und die damit zusammenhängende Verschiebbarkeit der Linie in sich
549 selbst theilt mit der geraden Linie nur noch der Kreis. Aber zwei Kreisbögen von gleicher Länge und Krümmung müssen schon in einer bestimmten Weise zusammengelegt werden, um zu congruiren. Man kann ihre Enden auch so aufeinander legen, dafs die Linienstücke selbst nicht congruiren. Auf dieser Eigenschaft der geraden Linie beruht auch wesentlich ihre Bedeutung als Längenmaafs. Denn dafür können wir nur eine Linie gebrauchen, die eindeutig bestimmt ist, wenn ihre Endpunkte bestimmt sind, und deren jeder Theil congruirend auf jeden andern gelegt werden kann.

Im Blickfelde giebt es nun nur eine Art von Linien, an denen wir durch einen unmittelbaren Act der Empfindung constatiren können, dafs sie

in sich selbst verschiebbar und sich selbst also in allen ihren Theilen congruent seien; das sind, wie die vorausgehende Erörterung zeigt, unter Voraussetzung des LISTING'schen Gesetzes, die Richtkreise. Zwar können auch andere Kreise im Blickfelde erscheinen, die wir für in sich selbst verschiebbar erklären müssen, aber wir können dies nur durch Messungen und Schlüsse, nicht durch einen unmittelbaren Act der Empfindung constatiren.

Wenn ein Auge in seinen Bewegungen abweicht vom LISTING'schen Gesetze, so existiren bei einem solchen nicht nothwendig Linien, die bei Bewegungen des Blicks in ganzer Länge in sich selbst verschiebbar sind; aber man wird jedes Mal Linien construiren können, deren Elemente alle nacheinander auf demselben das Centrum der Netzhaut schneidenden Linienelemente der Netzhaut abgebildet werden können. Solche wollen wir Richtlinien des Blickfeldes nennen. Nur unter Voraussetzung des LISTING'schen Gesetzes für die Augenbewegungen sind alle Richtlinien des Blickfeldes in sich selbst verschieblich und erscheinen dem Auge, dessen Blick an ihnen entlang läuft, fortdauernd in unverändertem Netzhautbilde. Es ist dies eine wesentliche Eigenthümlichkeit der dem LISTING'schen Gesetze folgenden Augenbewegungen.

Gerade Linien des objectiven Raumes erscheinen im kugelförmigen Gesichtsfelde als gröfste Kreise desselben. Gröfste Kreise fallen mit den Richtkreisen nur zusammen, wenn sie durch den Hauptblickpunkt (die Primärstellung der Blicklinie) gehen. Dann erscheinen kurze Stücke von ihnen, wie die oben beschriebenen Versuche zeigen, als gerade Linien, sonst aber gekrümmt, und zwar entgegengesetzt der wirklichen Krümmung der Richtkreise gekrümmt.

Die Richtkreise, beziehlich Richtlinien, müssen in der That in dem flächenhaften Blickfelde die Stelle der geraden Linien, welches die Linien constanter Richtung in der Ebene sind, vertreten. Wir können mit einem kurzen Lineal in der Ebene eine beliebig lange gerade Linie ziehen, indem wir zuerst eine solche ziehen, so lang als das Lineal es erlaubt, dann das Lineal längs der gezogenen Linie eine Strecke weit verschieben und so fortfahren. Ist das Lineal genau gerade, so erhalten wir bei diesem Verfahren eine gerade Linie; ist es selbst etwas gekrümmt, so erhalten wir einen Kreis. Statt des verschiebbaren Lineals dient uns im Gesichtsfelde die mit einem linienhaften Gesichtseindruck, der unter Umständen bis zum Nachbilde gesteigert sein kann, versehene centrale Stelle des deutlichsten Sehens. Wir verschieben den Blick in Richtung dieser Linie, dabei verschiebt sich die Linie selbst und zeigt uns die Fortsetzung dieser Richtung an. 550
In der Ebene können wir jenes Verfahren gleich gut mit jedem geradlinigen oder bogigen Lineal ausführen, im Gesichtsfelde aber ist für jede Richtung des Blicks und der Bewegung nur eine einzige Art von Linie möglich, die sich fortdauernd in ihrer eigenen Richtung verschieben läfst.

Wir sehen also, wie durch die Augenbewegungen und ihr bestimmtes Gesetz gewisse Abmessungen im Blickfelde möglich werden. Nun finden

wir aber, wie oben schon bemerkt worden ist, dafs auch bei vollkommen ruhendem Auge im indirecten Sehen eine gewisse Beurtheilung der Abmessungen des Sehfeldes möglich ist, die natürlich sehr viel unbestimmter ist, als die, welche mittels des bewegten Blicks gewonnen wird, schon weil das indirecte Sehen überhaupt keine grofse Genauigkeit gewährt. Dafs aber die Fähigkeit zu solcher Abmessung da sei, zeigt sich am schlagendsten an subjectiven Erscheinungen, die überhaupt nur im indirecten Sehen beobachtet werden können, wie an der Aderfigur. Wir sind im Stande, eine solche Figur nachzuzeichnen, ihre Verziehungen bei wechselnder Beleuchtungsrichtung wahrzunehmen, und haben überhaupt eine bestimmte flächenhafte Anschauung derselben, trotzdem wir nicht im Stande sind, durch Bewegungen des Auges die Lage derselben auf der Netzhaut zu verändern und die einzelnen Theile derselben mit dem Blicke zu durchlaufen. Ebenso zeigt sich bei momentaner Beleuchtung des Gesichtsfeldes durch einen Blitz, dessen Dauer zu kurz ist, als dafs eine merkliche Bewegung des Auges während der Dauer der Beleuchtung ausgeführt werden könnte, dafs wir im Stande sind, die Gestalt der vor uns liegenden Objecte der Hauptsache nach richtig zu beurtheilen.

Es kommen aber auch bei dieser Art der Betrachtung eigenthümliche Täuschungen des Augenmaafses vor, welche in so fern wichtig sind, als sie uns Andeutungen über die Art, wie wir zur Ausmessung des Feldes des indirecten Sehens gekommen sind, zu geben scheinen.

Erstens gehören hierher die schon vorher beschriebenen Täuschungen in der Vergleichung von Winkeln mit nicht parallelen Schenkeln und von Linien nicht übereinstimmender Richtung, weil, wie die Selbstbeobachtung lehrt, Bewegung des Auges in diesen Fällen nichts beiträgt und auch nichts beitragen kann zur Verbesserung des Urtheils. Die genannten Täuschungen treten ebenso gut ein bei strenger Fixation eines Punktes als bei wanderndem Blick.

Dazu kommt nun noch ein anderes System von Täuschungen, die ich bisher noch nirgends erwähnt gefunden habe, und welche sich beziehen auf die als ungekrümmt erscheinenden Linien des Sehfeldes und auf die scheinbare Gröfse seiner peripherischen Theile. In der Ebene sind die geraden Linien gleichzeitig die kürzesten und die, welche weder nach der einen, noch nach der anderen Seite hin eine Krümmung zeigen. Auf der Kugel sind es die gröfsten Kreise; deren Krümmungsradius ist senkrecht zur Kugelfläche gerichtet, in der Kugelfläche selbst zeigen sie keine Krümmung. Alle Kreise dagegen, welche kleiner sind als ein gröfster, erscheinen concav auf der Seite, wo das kleinere von ihnen abgegrenzte Kugelstück liegt, convex auf der entgegengesetzten Seite.

Wir können nun fragen, welches sind die ungekrümmten Linien im
551 Sehfelde? Sind es, wie man zunächst vielleicht vermuthen sollte, die gröfsten Kreise des kugelig gedachten Feldes? Davon, dafs diese es nicht in allen Fällen sind, kann man sich leicht überzeugen.

Man wiederhole den früher erwähnten Versuch mit drei Sternen mit fixirtem Blicke, während früher Bewegung des Blicks über dieselben hin vorausgesetzt war. Man suche sich am Sternenhimmel drei helle Sterne, die möglichst annähernd in einem gröfsten Kreise liegen, was man mittels eines ausgespannten Fadens, an dem man vorbei nach den drei Sternen hin visirt, hinreichend genau erkennen kann. Man wähle diese Sterne möglichst weit von einander entfernt; doch müssen sie hell genug sein, um auch im indirecten Sehen noch leicht erkannt und von den benachbarten kleineren unterschieden zu werden. Wenn man solche gefunden hat, fixire man den mittleren; sie werden in einer geraden Linie zu liegen scheinen, oder wenn sie nicht ganz genau in einem gröfsten Kreise liegen, so erkennt man richtig den Sinn und ungefähr auch die Gröfse der Abweichung. Nun wähle man aber den Fixationspunkt in einiger Entfernung auf der einen oder anderen Seite der Sternenreihe, man wird sogleich und sehr deutlich die Reihe gegen den Fixationspunkt concav sehen, um desto mehr concav, je weiter entfernt der Fixationspunkt von der Reihe der drei Sterne ist. Daraus lernen wir, dafs am Sternenhimmel bei unbewegter Blickrichtung ein gröfster Kreis nur dann ungekrümmt erscheint, wenn er durch den Fixationspunkt geht, dagegen concav gegen den Fixationspunkt, wenn er das nicht thut. Es folgt daraus weiter, dafs Linien, welche auf den peripherischen Theilen des Gesichtsfeldes ungekrümmt erscheinen sollen, in Wahrheit auf dem Himmelsgewölbe convex gegen den Fixationspunkt sein müssen.

An irdischen Objecten wird man in der Beurtheilung der Ausmessungen des Sehfeldes zwar leicht beeinflufst durch die schon vorher erworbene Kenntnifs der wirklichen Ausmessungen des Objects, es gelingt aber doch auch an solchen dieselbe Täuschung wahrzunehmen.

Am zweckmäfsigsten ist es, sich weit über eine grofse Tischplatte zu beugen, so dafs man keine erkennbaren geraden Linien mehr im Gesichtsfelde hat, nach denen man sich richten könnte, und einen Punkt der Platte zu fixiren. Wenn man dann in einiger Entfernung vom Fixationspunkte drei Papierschnitzelchen oder andere helle Objecte hinlegt und dieselben in eine gerade Linie zu richten strebt, so findet man stets, sobald man den Blick auf die Papierchen selbst richtet, dafs man sie in einen gegen den früheren Fixationspunkt convexen Bogen gelegt hat.

Wenn man über dieselbe Tischplatte einen langen von zwei parallelen Linien begrenzten und etwa drei Zoll breiten Papierstreifen legt und dessen Mitte fixirt, so bemerkt man, dafs seine Enden im indirecten Sehen schmaler als die Mitte erscheinen, und dafs er von zwei mit ihrer Convacität gegen einander sehenden Bögen begrenzt erscheint.

An geraden Linien von geringerer scheinbarer Erstreckung bemerkt man die Krümmung meistentheils nicht, weil wir viel mehr geneigt sind, sie als gerade Linien der körperlichen Objecte, denn als gröfste Kreise des Gesichtsfeldes zu betrachten und zu deuten.

552 Während nun gröfste Kreise concav gegen den Fixationspunkt erscheinen, wenn sie nicht durch diesen selbst hindurchgehen, so erscheinen im Gegentheil Kreise, welche Parallelkreise zu einem durch den Fixationspunkt gehenden gröfsten Kreise sind, convex gegen den genannten Punkt. Man biege, um dies zu prüfen, einen drei bis fünf Zoll breiten Papierstreifen zu einem Halbcylinder und bringe das Auge in dessen Axe. Fixirt man nun die Mitte des Papierstreifens, so scheint derselbe nach beiden Seiten hin breiter zu werden und von zwei mit der Convexität gegen einander gekehrten Bögen begrenzt. Die seitlichen Theile des Streifens befinden sich in derselben Entfernung vom Auge, wie die Mitte desselben, und erscheinen deshalb, geometrisch betrachtet, unter demselben Gesichtswinkel, wie die Mitte, während sie scheinbar im Sehfelde sich gröfser darstellen als die Mitte des Streifens.

Denken wir uns den Fixationspunkt am Horizont gelegen, über ihm befinde sich in der Höhe *h* ein Punkt, durch den im indirecten Sehen eine scheinbar ungekrümmte horizontal verlaufende Linie gezogen werden soll. Der gröfste Kreis, welcher rechts und links in gleicher Entfernung den Horizont schneidet und in der Entfernung *h* unter dem Occipitalpunkt des Beobachters hindurchgeht, erscheint nach unten concav. Ein wirklich überall horizontal verlaufender Parallelkreis des Horizontes, der in der Entfernung *h* auch über dem Occipitalpunkt hinweggeht, entspricht ebenfalls nicht der Aufgabe, er erscheint convex nach unten. Da der erste dieser Kreise nach unten concav, der zweite convex erscheint, so mufs die scheinbar ungekrümmte Linie zwischen diesen beiden liegen, und wenn sie ein Kreis ist, so mufs sie weniger als *h* vom Occipitalpunkt entfernt über oder unter diesem hindurchgehen. Da können wir nun an die Richtkreise des Blickfeldes denken, die durch den Occipitalpunkt selbst hingehen. Versuchen wir es mit diesen.

Zu dem Ende habe ich die Richtkreise des Blickfeldes, welche mit der durch den Fixationspunkt gehenden verticalen und horizontalen Linie übereinstimmende Richtung haben, auf eine ebene Tafel projicirt; sie erscheinen dabei als Hyperbeln. Um sie im ganzen Sehfelde, auch in den indirect gesehenen Theilen desselben möglichst deutlich erscheinen zu lassen, habe ich die Felder des von den Curven gebildeten Gitters schachbrettartig schwarz und weifs gemalt, wie *Fig. 213* in verkleinertem Maafsstabe $^3/_{16}$ zeigt; *A* bezeichnet die in gleichem Verhältnifs verkleinerte Entfernung, in der das Auge des Beobachters von der Tafel, der Mitte derselben gerade gegenüberstehend, entfernt sein mufs. Der Mittelpunkt der Tafel wird fixirt. Das Original der *Fig. 213* hatte ich an der Wand des Zimmers, seine Mitte in der Höhe meiner Augen über dem Boden befestigt; ein rechtwinkliges Winkelmaafs, dessen Katheten die Länge der für das Auge verlangten Entfernung von 20 Centimeter hatten, diente zur Controlle dieses Abstandes, indem man eine seiner Katheten an die Tafel anlegte und die Spitze des gegenüberliegenden Winkels den äufsern Augenwinkel berühren liefs.

In der That erscheinen nun die als Hyperbeln[1] projicirten Richtkreise des Blickfeldes unter diesen Umständen im Gesichtsfelde als gerade Linien, 553 oder wenigstens als Linien, die nicht in der Fläche des Sehfeldes gekrümmt sind. Die einzelnen Verticalreihen und Horizontalreihen schwarzweifser Felder sehen überall gerade und überall gleich breit aus, so lange man unverwandt den Mittelpunkt der Zeichnung fixirt. Natürlich erkennt man aber die Krümmung der seitlich gelegenen Felderreihen, sobald man den Blick nach ihnen hinwendet. Hierbei tritt eine eigenthümliche Täuschung ein. Ich sehe nämlich, so wie ich den Blick wandern lasse, die Zeichnung gewölbt, wie eine flache Schüssel, so dafs die Krümmung der Hyperbeln wie eine Krümmung nach der Fläche erscheint und in dieser gekrümmten Fläche die Linien als gröfste Kreise (oder kürzeste Linien) erscheinen. Es wird durch diese Anschauung der Widerspruch zwischen directem und indirectem Sehen einigermaafsen aufgehoben. Nach den im Gesichtsfelde selbst gelegenen Richtungen erscheinen die Hyperbeln nicht gekrümmt, nur des Gesichtsfeld selbst erscheint gekrümmt.

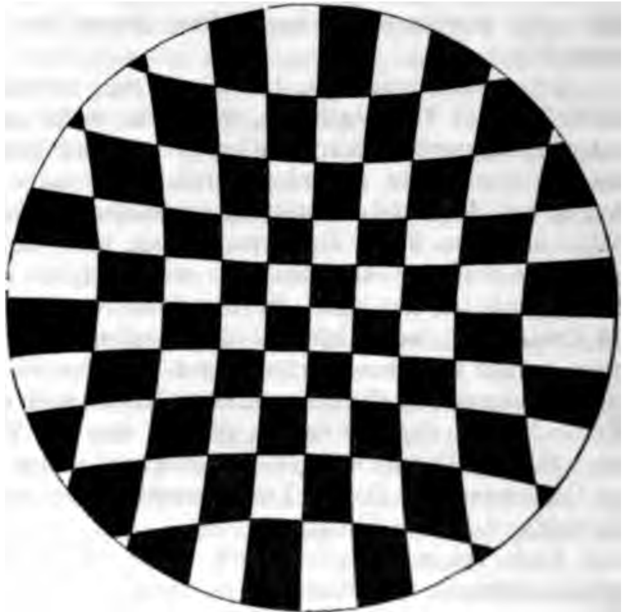



Fig. 213.

Man mufs also wohl darauf achten, dafs man bei dieser Beobachtung den Blick fest auf den Mittelpunkt der Tafel gerichtet hält. Sollte man sich von der Vorstellung ihrer wirklichen Gestalt nicht so schnell frei machen können, so erleichtert es die Täuschung, wenn man dicht vor das Auge eine Linse hält, in deren Brennpunkt die Tafel liegt. Freilich erscheinen die peripherischen Theile der Tafel dadurch etwas verzerrt; die Brechung in der Linse vergröfsert bei sehr schiefem Einfall der Strahlen die Krümmung der Hyperbeln; aber der gröfsere mittlere Theil der Tafel wird durch die Linse,

[1] Die Gleichung dieser Hyperbeln ist im vorigen Paragraphen auf S. 653 unter 3 e) und den folgenden Nummern gegeben; die Abstände derselben in der mittleren Horizontale und Verticale sind so gewählt, dafs sie gleichen Gesichtswinkeln entsprechen.

wie in unendlicher Entfernung liegend gesehen und dadurch die Abstraction von seiner wahren körperlichen Gestalt begünstigt.

Am vollkommensten gelingt die Täuschung, wenn man den Mittelpunkt der Tafel so lange fixiert, bis ein kräftiges Nachbild entwickelt ist und man dies mit geschlossenen Augenlidern gegen das helle Fenster gewendet betrachtet.

554 Ich verfuhr weiter so, daſs ich anfangs mein Auge weiter als 20 Centimeter von der Tafel entfernte, wobei die rechts und links, oben und unten gelegenen Hyperbeln gekrümmt erschienen, und mich dann allmählich näherte, bis sie mir gerade geworden waren, dann maſs ich den Abstand meines Auges von der Tafel mittels des erwähnten Winkelmaaſses. Ging ich noch näher heran, so fingen die Hyperbeln an, sich scheinbar nach der entgegengesetzten Seite zu krümmen, als nach der sie wirklich gekrümmt waren. Dabei fand ich fast stets für die Entfernung meines Auges von der Tafel 20 Centimeter, wenn ich auf die Horizontallinien der Tafel achtete und diese gerade zu sehen trachtete, und auch für die mittleren Verticalstreifen stimmte es gut. Für die äuſseren, besonders die nach der Schläfenseite liegenden Verticalstreifen dagegen war ich geneigt, eine der Tafel etwas nähere Stellung zu wählen. Deren wirkliche Krümmung schien in der Entfernung von 20 Centimeter, für die die Tafel berechnet war, noch nicht ganz aufgehoben zu sein.

Auch bei schief gehaltenem Kopfe, wobei die Linien der Tafel auf schräg liegende Meridiane der Netzhaut fielen, blieben die Erscheinungen dieselben.

Daraus geht also hervor, daſs so weit die Unbestimmtheit des indirecten Sehens und des entsprechenden Augenmaaſses zu beurtheilen erlaubt, die Richtlinien des Blickfeldes, wie sie im Sehfelde bei fixirtem Hauptblickpunkte erscheinen würden, die scheinbar ungekrümmten, also auch scheinbar kürzesten Linien des Sehfeldes sind.

Diese besondere Gestalt der kürzesten Linien im Sehfelde hat nun noch weitere Folgen für dessen scheinbare Gestalt und die scheinbare Gröſse der Objecte, wie schon vorher bemerkt wurde. Man denke sich den horizontalen Meridian des Sehfeldes gezogen und 10° über dessen Mitte in horizontaler Richtung eine Richtlinie. Diese trifft mit jenem Meridian in 180° Entfernung hinter dem Kopfe des Beobachters zusammen und tangirt ihn dort; in 90° Entfernung aber an den Rändern des Gesichtsfeldes ist die Richtlinie nur noch um 5° senkrecht entfernt von dem genannten Meridiane, und da die beiden Kreise im Sehfelde als parallele Linien erscheinen, so erscheint der senkrechte Abstand beider von 5° am Rande ebenso groſs wie der von 10° in der Mitte, und in gleicher Weise erscheinen auch an anderen Stellen des Randes des Sehfeldes die diesem Rande parallelen Dimensionen der Bilder relativ zu groſs.

Dies zeigt sich nun auch in folgenden Versuchen. Man stelle sich so, daſs man zur Seite um etwa 90° vom Fixationspunkt entfernt eine weiſse

Thür in einer dunklen Wand, oder einen dunklen Baum vor der hellen Himmelsfläche hat, und beachte, wie hoch diese im indirecten Sehen erscheinen. Man wende dann Auge und Kopf direct nach diesen Gegenständen hin, so wird man finden, dafs sie viel niedriger erscheinen, und dafs im Gegensatz zu der verminderten Höhe ihre Breite viel mehr heraustritt. Berge am Rande des Gesichtsfeldes erscheinen in ähnlicher Weise höher und steiler, als wenn man direct hinblickt.

Andererseits lege man einen weifsen Bogen Papier vor sich auf einen dunklen Fufsboden und sehe horizontal gerade aus, so dafs das Papier am unteren Rande des Gesichtsfeldes erscheint, es wird relativ zu breit von rechts nach links erscheinen und sich scheinbar zusammenziehen, sobald man direct hinblickt.

Während so die der Peripherie des Sehfeldes parallelen Bögen ver- 555
gröfsert erscheinen, erscheinen die peripherischen Theile der radial verlaufenden Linien etwas verkleinert. Die Hyperbeln der *Fig. 213* sind so construirt, dafs aus der Entfernung $A$ gesehen die Scheitel der horizontal und die der vertical verlaufenden Hyperbeln um gleiche Gesichtswinkel von je 10 Grad von einander abstehen. Wenn also die Hyperbeln als gerade Linien erscheinen, so sollten die schwarzen und weifsen Felder alle als gleich grofse Quadrate erscheinen. Das ist aber nicht der Fall; vielmehr erscheinen die von der horizontalen Mittellinie weit nach oben und nach unten gelegenen Quadrate zu niedrig gegen ihre Breiten. Weniger deutlich finde ich es, dafs die nach rechts und links gelegenen vielleicht etwas zu schmal in ihrer Breite erscheinen. Doch ist überhaupt diese Vergleichung der Gröfsen direct und indirect gesehener Objecte sehr unvollkommen.

Eine farbige kreisförmige Pappscheibe vor einen contrastirenden Grund gehalten, erscheint daher am oberen und unteren Rande des Sehfeldes als eine elliptische Scheibe mit längerem horizontalen Durchmesser. Weniger deutlich zeigt sie sich am rechten und linken Rande des Sehfeldes als eine Ellipse mit längerem verticalen Durchmesser.

Da die Seitentheile des Sehfeldes uns etwas zu hoch und etwas zu schmal erscheinen, so besteht eine gewisse Neigung, sie für näher und schräg gestellt gegen die Gesichtslinie zu halten. Sowie man den Blick nach ihnen hinwendet, scheinen sie zurückzuweichen und sich mehr senkrecht gegen die Blicklinie zu stellen. Es ist dies eine Täuschung, die ich bei weit entfernten Objecten am Horizont, am Sternenhimmel sehr gewöhnlich sehe. Das Sehfeld erscheint mir dann nicht als eine Kugel, in deren Mittelpunkt sich das Auge befindet, sondern es erscheint stärker concav als eine solche; doch möchte ich nicht sagen, dafs das monoculare Sehfeld bei unbewegtem Blicke sich uns mit einiger Entschiedenheit als eine bestimmt geformte Fläche darstellte.

In der That lassen sich nun die hauptsächlichsten der eben beschriebenen Eigenthümlichkeiten der Wahrnehmung in folgendem geometrischen Bilde zusammenfassen. Man denke sich zuerst das Blickfeld als eine Hohlkugel,

in deren Mittelpunkt das Auge sich befindet. Man denke Radien vom Mittelpunkte (Richtungslinien des Sehens) gezogen nach den einzelnen Objectpunkten und verlängert bis zur Kugeloberfläche. Wo diese Radien die Kugeloberfläche schneiden, ist das auf die Kugelschale projicirte Bild des Objectes. Man denke sich die Objecte entfernt und nur durch ihre Bilder auf der Kugelfläche des Blickfeldes ersetzt. Das Auge fixire den Hauptblickpunkt; ihm gegenüber liegt der Occipitalpunkt. Ich sage: das Auge sieht die Objecte im Sehfelde scheinbar so vertheilt, wie es sie nach geometrisch richtiger Projection sehen würde, wenn es die Bilder auf der Kugelfläche vom Occipitalpunkte derselben aus ansähe. Oder auch: Das Auge sieht die Gegenstände des Gesichtsfeldes wie in einer vom Occipitalpunkte aus entworfenen stereographischen Projection, diese vom Occipitalpunkte selbst aus betrachtet. Es ist dieselbe Art der Projection, wie sie bei geographischen Karten für Erdhalbkugeln immer angewendet wird.

In der That liegen die im Sehfelde als ungekrümmt erscheinenden
556 Richtkreise in Ebenen, die durch den Occipitalpunkt gehen, und müssen sich also von dort gesehen als geradlinig projiciren. Tangential gerichtete Erstreckungen längs der Peripherie des Sehfeldes müssen relativ gröfser als ihnen parallele Strecken in der Mitte des Feldes erscheinen, weil erstere dem Auge näher sind, als letztere. Dazu kommt nun noch, dafs in der That das Sehfeld jedes Auges, welches geometrisch genommen von rechts nach links etwa 180 Grade einnimmt, scheinbar viel enger ist. Denn die äufsersten nach rechts und links gelegenen Objecte, welche wir noch im indirecten Sehen erkennen können, und deren gerade Verbindungslinie durch unser Auge hindurchgeht, erscheinen uns doch noch immer, wie vor uns liegend, als ob die zu ihnen geführten Richtungslinien des Sehens einen stumpfen oder auch wohl rechten Winkel mit einander bildeten. Namentlich wenn man nach dem Himmel blickt, so dafs man keine irdischen Objecte von bekannter Lage und Gröfse im Sehfelde hat, so scheint das helle Feld, welches man vor sich hat, etwa den Durchmesser eines rechten Winkels von rechts nach links, noch weniger sogar von oben nach unten zu haben, wo Augenbrauen und Wange das Feld etwas verengern. Es macht den Eindruck, als blickte man aus einer gewissen Tiefe des Kopfes hervor in die Aufsenwelt.

Das eben angeführte geometrische Bild möchte ich nur als solches betrachtet wissen; es fafst die Hauptzüge der scheinbaren Vertheilung im Sehfelde zusammen, aber nicht alle. Die scheinbare Verkürzung der radial gerichteten, vom Hauptblickpunkte auslaufenden Strecken nahe der Peripherie, die namentlich am untern und obern Rande des Gesichtsfeldes deutlich vorhanden ist, wird durch jenes Bild nicht gegeben. Gleiche radiale Strecken würden vielmehr in allen Theilen des Feldes gleich grofs erscheinen, da sie für das im Rückenpunkt der Kugel gelegene Auge durch gleiche Peripheriewinkel gemessen werden, wie für das im Mittelpunkte befindliche durch gleiche Centriwinkel. Zu gleichen Centriwinkeln gehören aber bekanntlich gleiche Peripheriewinkel.

Auch die scheinbare Abweichung der verticalen Meridiane und des ›rhältnisses der verticalen und horizontalen Dimensionen ist nicht rücksichtigt.

Wir kommen jetzt zu der Untersuchung, wie kann eine solche Aus-assung des Sehfeldes entstehen.

Im Sinne der nativistischen Theorie ist sie durch gewisse organische nrichtungen von Geburt auf gegeben, eine Erklärung aus den Gesichts-scheinungen also nicht weiter zu suchen.

Die empiristische Theorie aber wird versuchen müssen, eine solche 'klärung zu finden. Wir setzen dabei voraus, dafs das Bewegungsgesetz r Augen ausgebildet sei, was, wie im vorigen Paragraphen gezeigt wurde, ne eine Kenntnifs der Localisation der Eindrücke im Gesichtsfelde geschehen nn, in Folge des Bestrebens, die Veränderungen der Eindrücke bei Be-gung des Auges als abhängig von dieser Bewegung und nicht von nderungen der äufseren Objecte zu constatiren. In Wirklichkeit mag, wie hon früher bemerkt wurde, die Ausbildung des Augenmaafses sich theil-ise gleichzeitig mit dem Gesetz der Bewegungen entwickeln und die ganze nübung nicht so methodisch und in einzelne Stadien getrennt vor sich hen, wie wir es hier der Uebersichtlichkeit wegen haben darstellen müssen. 557
ı Wesentlichen wird dadurch nichts geändert.

Wir haben im Anfange dieses Paragraphen auseinandergesetzt, wie unter lfe der Bewegungen des Auges zunächst ermittelt werden kann, in welcher eihenfolge die Objecte und die durch besondere Localzeichen charakterisirten ıen entsprechenden Netzhautpunkte in der Fläche jene des Gesichtsfeldes, ›se der Netzhaut geordnet sind. Es blieb nur noch übrig, die Entstehung r bestimmten Gröfsenverhältnisse zu erörtern.

Wir haben dann gesehen, wie die Kenntnifs gewisser Linien im Blick-de, die in allen ihren Theilen übereinstimmende Richtung haben, und als sich selbst verschiebbar wahrzunehmen sind, der Richtlinien, durch s ausgebildete Bewegungsgesetz der Augen gewonnen werden kann.

Wenn wir nun irgend ein Object im indirecten Sehen wahrnehmen, von n also einen begrenzten Eindruck auf einen seitlichen Theil der Netzhaut ıalten haben, und dann den Blick jenem Objecte zuwenden, so erhalten : hinterher einen Eindruck desselben Objects mit seiner gleichen schein-ren Gröfse auch auf dem Centrum der Netzhaut, und können also aus fahrung allmählich lernen, welchem centralen Eindrucke ein gewisser peri-erischer in Qualität und Gröfse gleich gilt. Dadurch ist die Möglichkeit geben, auch mittels des indirecten Sehens, soweit dessen Genauigkeit sreicht, Objecte ihrer Form und scheinbaren Gröfse nach beurtheilen zu nen.

Neben der Gröfse und Form wird aber auch eine Vergleichung der chtung des erst indirect und dann direct gesehenen Objectes mit dem ›rst direct gesehenen eintreten, es wird wahrgenommen werden, welche ıien beider Objecte sich auf denselben Meridianen der Netzhaut abbilden.

Diese Vergleichung der Lage wird allerdings etwas verschieden ausfallen müssen, je nachdem wir von der Primärstellung oder von einer Secundärstellung des Blicks ausgehen, obgleich das für normalsichtige Augen geltende LISTING'sche Gesetz die Summe dieser Verschiedenheiten so klein als möglich macht. Im Mittel aller Fälle aber wird die Vergleichung so ausfallen, als wäre das erste Object in der mittleren Stellung, das heifst in der Primärstellung fixirt worden. Aufserdem ist schon früher hervorgehoben worden, dafs die Primärstellung als die bequemste und zur Orientirung vortheilhafteste am meisten vom Auge eingenommen wird, und dafs wir Bewegungen, welche mit Drehung um die Blicklinie verbunden sind, zu vermeiden suchen. So werden wir also durch Erfahrung kennen lernen können, welche Richtungen in den Seitentheilen des Sehfeldes übereinstimmen mit den durch den Fixationspunkt gezogenen Linien, und diese Uebereinstimmung wird sich als Regel so feststellen, wie sie stattfindet, wenn der Fixationspunkt auch Hauptblickpunkt ist, das heifst sämmtliche Linienelemente ein und derselben Richtlinie werden im Sehfelde übereinstimmende Richtung zu haben scheinen, und sämmtliche Richtlinien, die im Occipitalpunkt einen und denselben Meridian des Sehfeldes tangiren, werden übereinstimmende Richtung haben.

Nun tritt aber diese Bestimmung der Linien von übereinstimmender Richtung in Widerspruch mit den Bestimmungen der scheinbaren Gröfse,
558 welche bei Vergleichung der direct und indirect gesehenen Objecte anzustellen sind. Linien von übereinstimmender Richtung im Sinne unserer Definition dieses Begriffs können sich nämlich nicht schneiden, denn wo sie sich schneiden, würden sie nicht in übereinstimmender Richtung erscheinen können. Sie erscheinen uns vielmehr thatsächlich parallel und überall in gleichem Abstande. Dadurch wird es aber bedingt, wie wir oben gesehen haben, dafs die tangential gerichteten peripherischen Strecken relativ zu grofs erscheinen.

Dafs wir bei diesen Vergleichungen die Richtung der übereinstimmenden Linien mehr berücksichtigen als die Gröfse der Objecte, hängt wohl davon ab, dafs wir bei undeutlichen und verwaschenen Bildern, wie es die peripherischen des Sehfeldes in hohem Grade sind, Richtungen von Linien noch ziemlich gut und genau erkennen können, wenn die Form und Dimensionen des Objects nur noch sehr ungenau erkannt werden. Wenn man eine feine schwarze Linie unter Umständen betrachtet, wo man nicht für sie accommodiren kann und sie als einen verwaschenen Schattenstreifen sieht, so wird man ihre Breite gar nicht, ihre Länge nur sehr unvollkommen bemessen, ihre Richtung aber noch sehr genau mit der eines scharf gesehenen Fadens vergleichen können, indem man diesen dem Rande des Schattenstreifens parallel oder auch gerade in die Mitte des Schattens einstellt. Nun machen die Bilder in den Seitentheilen des Sehfeldes ungefähr denselben subjectiven Eindruck, wenn auch aus einem ganz andern Grunde, wie Bilder, die wegen schlechter Accommodation sehr verwaschen sind, und es scheint mir deshalb die Annahme

zulässig, und wird auch, wie mir scheint, durch directe Beobachtung bestätigt, dafs man die Richtung der durch sie verlaufenden Linien verhältnifsmäfsig viel sicherer bestimmt, als die Gröfse der dort befindlichen Objecte. Es wird mir wenigstens viel schwerer, mich über die Stellung zu entscheiden, die ich nehmen mufs, um die äufseren Felder des Schachbrettmusters *Fig. 213* gleich breit mit den mittleren zu sehen, als es der Fall ist, wenn ich die Linien gerade gestreckt sehen will.

Dafs an den äufsersten Grenzen des schachbrettförmigen Feldes die Richtlinien noch etwas gekrümmt erschienen, erklärt sich daraus, dafs von der Primärstellung ausgehend diese Stellen nur mit angestrengter Seitenwendung des Auges zu erreichen waren, wie wir sie gewöhnlich nicht anwenden. Um sie mit dem Blicke ohne ungewöhnliche Anstrengung erreichen zu können, mufste der Blicklinie für das Centrum der Scheibe eine Wendung nach der entgegengesetzten Seite gegeben werden. Bei solcher Stellung aber würden die Richtlinien des Sehfeldes an der betreffenden Stelle der Peripherie wirklich weniger gekrümmt sein, als die Hyperbeln.

In dem mittleren deutlich gesehenen Theile des Sehfeldes können wir, wegen seiner geringen Ausdehnung von der Krümmung der Kugelfläche und der auf ihr gezogenen Richtlinien, absehen. Wir können in diesem Theile des Sehfeldes übereinstimmende Richtlinien als parallele gerade Linien betrachten. Hier mufs auch die Vergleichung der Form, Gröfse und Lage der Objecte, wenn wir sie bald indirect, bald direct betrachten, übereinstimmende Resultate geben. Hier wird also auch eine genauere Vergleichung indirect gesehener Strecken mit parallelen direct gesehenen möglich werden, während unsere Vergleichungen solcher Strecken von den peripherischen 559
Theilen des Gesichtsfeldes sehr unsicher und fehlerhaft sind. Nicht übereinstimmende Strecken werden aber auch in der Mitte des Gesichtsfeldes nicht unmittelbar, sondern nur mit Hilfe von Drehungen des Kopfes oder des Objects verglichen werden können, eine Art der Vergleichung, welche nothwendig viel unvollkommener ist, als die durch Drehung des Auges allein.

Die oben angegebenen Thatsachen lehren nun auch weiter, dafs man in der That solche Linien und Winkel, welche übereinstimmende Lage haben, und deshalb mit denselben Netzhautpunkten zur Deckung gebracht werden können, leicht und gut auch der Gröfse nach miteinander verglicht, während die Gröfsenverhältnisse solcher Linien und Winkel, die nicht übereinstimmende Lage haben, sowohl eine beträchtliche Unsicherheit, als auch gewisse regelmäfsige constante Fehler bei der Vergleichung zeigen. Bis zu einem gewissen Grade lernen wir natürlich auch Linien und Winkel vergleichen, die nicht übereinstimmende Lage haben, wie die Seiten und Winkel eines Quadrats oder eines gleichseitigen Dreiecks, indem wir entweder die Objecte vor uns haben und herumdrehen, so dafs wir sie in verschiedener Stellung erblicken, oder indem wir unseren Kopf drehen. Beides geschieht aber nicht so häufig, nicht in so regelmäfsig wiederkehrender Weise, wie die blofse Bewegung des

Auges, daher die Uebung in Bezug auf die Vergleichung von Objecten nicht übereinstimmender Lage natürlich sehr mangelhaft bleibt.

Bei einer unsicheren Wahrnehmung wird nun unser Urtheil auch leicht durch andere Motive, die darauf Einflufs haben, irre geleitet. Wir werden sehen, dafs die Täuschung über die Gröfse der rechten Winkel in einer ganz besonderen Beziehung zum zweiäugigen Sehen steht und deshalb bei verschiedenen normalsichtigen Individuen auch in ziemlich übereinstimmender Gröfse wiederkehrt. Die Täuschung, durch welche uns verticale Linien zu grofs erscheinen im Vergleich zu horizontalen, zeigt dagegen sehr grofse Differenzen bei verschiedenen Individuen, und hier finde ich auch bei mir selbst das Urtheil sehr wechselnd und sehr unsicher. Dabei mag vielleicht von Einflufs sein, dafs die meisten Figuren der Art, gegen welche wir unsere Stellung so wechseln, oder deren Stellung gegen uns wir so wechseln lassen können, dafs ihre verschieden gerichteten Linien und Winkel sich nach einander auf denselben Netzhautparthien abbilden, solche sind, die auf dem Fufsboden gezogen sind, oder auf ebenen Tafeln, die wir, wie unsere Bücher, so in der Hand halten, dafs ihr unteres Ende dem Auge näher ist, als das obere. Warum wir diese Haltung wählen, wird sich in der Lehre vom Horopter zeigen. Bei solcher Lage der Linien erscheinen aber in der That verticale Linien immer in perspectivischer Verkürzung, und wir können dadurch geneigt werden, sie immer für länger zu halten, als sie ihrer scheinbaren Gröfse nach sind.

Uebrigens ist ferner ersichtlich, dafs wenn einmal durch irgend welche Motive festgestellt ist, welcher Meridian für senkrecht gehalten werden soll, und welches Längenverhältnifs verticaler und horizontaler Linien gleich der Einheit erscheinen soll, dafs dann auch die scheinbare Lage jedes anderen Punktes im Sehfelde bestimmt ist.

560 Wenn wir uns hierbei beschränken auf den mittleren Theil des Sehfeldes, welcher annähernd als Ebene betrachtet werden kann, so können wir uns die geometrische Lage der Punkte durch rechtwinkelige Coordinaten gegeben denken. Es sei in *Fig. 214* $AB$ die dem Netzhauthorizont entsprechende Horizontale, $CA$ eine Verticale, $A$ der Blickpunkt. Dem entspreche die scheinbare Lage im Sehfelde $ab$ für den Netzhauthorizont, $ac$ für den verticalen Meridian. Es sei der Punkt $F$ im geometrischen Sehfelde abstehend um zwei Längeneinheiten von der Axe $AB$, um drei von der Axe $AC$. Tragen wir auf $ab$ drei Längeneinheiten ab gleich denen von $AB$, und auf $ac$ die Linie $ad$, welche zwei Längeneinheiten von $AC$ gleich lang erscheint, und vervollständigen das Parallelogramm $abdf$, so ist $f$ die scheinbare Lage von $F$, denn

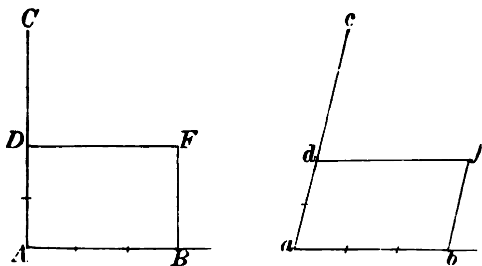


Fig. 214.

r Construction gemäfs müssen alle einzelnen Linienstücke und Winkel der iden Figuren einander gleich erscheinen.

Die scheinbare Lage der Punkte im mittleren, scharf gesehenen Theile s Sehfeldes, welchen wir als Ebene betrachten können, wird also nach der rgetragenen Theorie, wie es auch in der That der Fall ist, aus der geoetrischen hergeleitet werden, wenn wir die Punkte aus einem rechtwinkeen Coordinatensystem in ein schiefwinkeliges mit verändertem Axenrhältnifs übertragen. Indessen läfst sich auch, wie aus bekannten Sätzen r analytischen Geometrie erhellt, in solchen Fällen immer eine bestimmte enrichtung eines rechtwinkeligen Systems angeben, an dem die Uebergung dadurch vorgenommen werden kann, dafs nur die der einen Axe rallelen Coordinaten in einem bestimmten Verhältnisse verkürzt oder vergert werden. Die Winkel und Axenverhältnisse, welche diesen Umnungen zu Grunde zu legen sind, sind schon oben angegeben.

Ich mufs hier noch bemerken, dafs die beschriebenen thatsächlichen rhältnisse nicht passen zu zwei anderen Theorien, die über die Ausmesng des Sehfeldes aufgestellt worden sind. Eine Anzahl von Physiologen t sich der Annahme von J. MÜLLER angeschlossen, dafs die Netzhaut die higkeit hätte, ihre eigenen räumlichen Dimensionen wahrzunehmen. Dann irden die tangential gerichteten Strecken nahe der Peripherie des Sehdes nicht zu grofs, wie sie es thun, sondern vielmehr zu klein erscheinen issen, da, wie der Querschnitt des Auges *Fig. 1* (S. 5) lehrt, die tzhaut gegen ihren vorderen Rand an der *Ora serrata gg* hin beträchtlich ger wird, als eine um den Knotenpunkt beschriebene Halbkugel. Wie es h unter dieser Annahme mit den radialen Dimensionen verhalten müfste, st sich nicht gut entscheiden, da die Brechung der Strahlen, welche sie i so schiefem Einfall in Richtung zur Axe hin erleiden, und die Lage des tzhautbildes nicht genau bestimmt werden können.

Eine zweite Annahme, die zur Erklärung der Ausmessung des Sehfeldes 561
braucht worden ist, ist von mehreren Physiologen aus E. H. WEBER's rsuchen über die Empfindungskreise der Haut und der Netzhaut hergeleitet worden, freilich wohl kaum, wie mir scheint, im Sinne dieses Autors[1]. nach sollen die kleinsten räumlich unterscheidbaren Ausdehnungen als nheiten des Flächenmaafses benutzt werden. Räumliche Trennung zweier ndrücke kann, wie schon auf Seite 256 erörtert wurde, nur wahrnommen werden, wenn zwischen zwei erregten Flächenelementen ein nicht egtes oder anders erregtes übrigbleibt und wahrgenommen werden kann. e Gröfse der kleinsten unterscheidbaren Flächenelemente ist nun an veriedenen Theilen der Netzhaut sowohl, wie aufser WEBER auch AUBERT d FÖRSTER erwiesen haben, als auch an verschiedenen Stellen der Haut ır verschieden, so dafs die Entfernung der erregten Punkte an verschienen Theilen sehr verschieden grofs gewählt werden mufs, wenn man sie

[1] E. H. WEBER über den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge. *Berichte Sächs. Ges.* 1852. S. 85–164.

als zwei unterscheiden soll. Setzt man also zwei Zirkelspitzen auf eine Stelle der Haut, wo ihre Distanz kleiner als die kleinsten unterscheidbaren Entfernungen ist, so verschmelzen ihre Eindrücke in einen, man glaubt nur mit einer Spitze berührt zu sein. Setzt man sie auf eine Stelle auf, wo ihre gesonderte Unterscheidung nur undeutlich erfolgt, so ist man allerdings geneigt, sie für näher zu halten, als sie wirklich sind; setzt man sie endlich an feiner unterscheidenden Theilen auf, wo ihre Trennung leicht erkannt wird, so erkennt man, wie ich wenigstens finde, richtig ihre wahre Distanz. So erscheinen mir also zum Beispiel Zirkelspitzen von vier Linien Distanz an der Zungenspitze, an der Fingerspitze, an den Lippen in gleicher Entfernung von einander, obgleich an der Zunge ein Abstand von $^1/_2$ Linie unterschieden wird, an der Fingerspitze dagegen nur einer von 1, an den Lippen von 2 Linien. Dagegen am Kinn und unterhalb des Kinnes, wo die Unterscheidung der Spitzen bei der genannten Distanz schwierig und unsicher wird, erscheinen sie mir, wenn ich sie unterscheide, wohl etwas näher zusammengerückt zu sein, als sie wirklich sind, nach dem allgemeinen Gesetze des Empfindens, wonach deutlich wahrnehmbare Unterschiede gröfser erscheinen als undeutlich wahrnehmbare. Aber doch scheinen sie mir am Halse, so lange ich sie überhaupt noch unterscheiden kann, niemals so nahe zu sein, als wenn ich die Spitzen eine halbe Linie oder eine Linie von einander entfernt, an die Zungenspitze ansetze. Die kleinsten unterscheidbaren Gröfsen erscheinen also keineswegs an allen Stellen der Haut gleich grofs, sondern sie erscheinen sehr verschieden grofs.

Ebenso verhält es sich auf der Netzhaut. Wenn ich zwei kleine schwarze Kreise von 2 Millimeter Durchmesser und ebensoviel gegenseitigem Abstand im indirecten Sehen betrachte, und eine Stelle suche, wo sie zuerst mir anfangen sichtbar zu werden, so erscheinen sie mir dort keineswegs näher aneinanderzustehen, als sie wirklich sind, und jedenfalls nicht im entferntesten so nahe, als zwei mit dem Centrum der Netzhaut fixirte Punkte, die an der Grenze der Unterscheidbarkeit sind.

562 Ich glaube deshalb, dafs es eine unzulässige Erweiterung der Weber'schen Theorie von den Empfindungskreisen ist, wenn man diesen Kreisen überall dieselbe scheinbare Gröfse zuschreiben und sie als elementare Maafseinheiten der Raumabmessungen benutzen will. Für das Auge würde aus einer solchen Annahme in der That auch folgen, dafs die ganze Peripherie des Sehfeldes in allen Dimensionen relativ viel kleiner erscheinen müfste, als Objecte gleicher Winkelgröfse in der Mitte des Sehfeldes. Wir haben im Gegentheil gesehen, dafs die tangentialen Richtungen vergröfsert erscheinen; die radialen allerdings, wenigstens am oberen und unteren Rande des Sehfeldes verkleinert.

Damit steht es keineswegs in Widerspruch, dafs bei der Ausmessung sehr kleiner Abstände, für deren Beurtheilung das mittels der Augenbewegungen ausgebildete Augenmaafs nicht genau genug ist, die Empfindungskreise, wie schon oben bemerkt wurde, benutzt werden. Wir kommen auf

diese Fragen übrigens bei den Phänomenen des blinden Flecks weiter unten noch einmal zurück.

Aufser den hier beschriebenen allgemeinen Täuschungen über die Gröfsenverhältnisse des Sehfeldes, welche vom Gesetz der Augenbewegungen und von der Art, wie wir unser Sehfeld kennen lernen, abhängig sind, giebt es noch eine Reihe von Täuschungen, welche von besonderen Eigenthümlichkeiten der betrachteten Figuren abhängen, aber auch interessant sind, weil sie mehr oder weniger deutlich die Motive kennen lehren, denen wir bei der Schätzung der Gröfse und Formen im Sehfelde folgen.

Man kann die hier in Betracht kommenden Phänomene meist auf die schon bei den Contrasterscheinungen aufgestellte Regel zurückführen, dafs deutlich zu erkennende Unterschiede bei allen Sinneswahrnehmungen gröfser erscheinen, als undeutlich zu erkennende Unterschiede von gleicher objectiver Gröfse. Eine erste Folge davon ist, dafs wir eine getheilte Raumgröfse leicht für gröfser halten, als eine ungetheilte, weil die directe Wahrnehmung der Theile uns deutlicher erkennen läfst, dafs die betreffende Gröfse so viel und so grofse Theile enthalte, als wenn die Theile nicht erkennbar abgezeichnet sind. So wird man in der nebenstehenden Linie *Fig. 215* leicht das Stück *ab* gleich *bc* halten, obgleich in der That *ab* gröfser ist als *bc*. Eine Reihe von Messungen über diese Art der Täuschung ist von A. Kundt[1] ausgeführt worden.

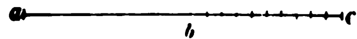


*Fig. 215.*

Er blickte nach 5 stählernen Spitzen *A, B, C, D, E*, die hinter einem Schirme so hervorragten, dafs die Entfernung $AB = 20{,}2$ Mm., $BC = 40{,}2$ Mm., $AE = 241{,}9$ Mm. war. Die Spitze *D* wurde nach dem Augenmaafse in die Mitte eingestellt. Wäre sie wirklich in der Mitte gewesen, so hätte die Entfernung *CD* betragen müssen 60,55 Mm. Sie wurde aber im Mittel aus 120 Versuchen eines Beobachters gemacht gleich 57,87 Mm., so dafs die scheinbare Mitte um 2,68 Mm. nach der Seite der Spitzen *A, B* und *C* von der Mitte hin entfernt lag. Bei einem anderen Beobachter ergab sich im Mittel aus 120 Versuchen die Abweichung gleich 3,95 Mm. Die Ent- 563
fernung der Spitze *D* vom Knotenpunkte des Auges betrug in allen Fällen 338 Mm.

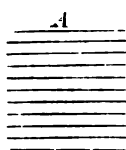
Zu bemerken ist, wie bei diesen Versuchen sich herausstellte, dafs das rechte Auge die rechte Hälfte einer zu halbirenden Distanz gröfser zu machen strebt, das linke Auge die linke Hälfte. Der erste Beobachter machte die dem gebrauchten Auge entsprechende Hälfte um 2,24 Mm., der zweite um 1,77 Mm. gröfser als die andere.

Bei den beschriebenen Versuchen werden Distanzen verglichen, welche mit denselben Netzhautpunkten zur Deckung gebracht werden können. Viel auffallender werden die Täuschungen, wenn die zu vergleichenden Distanzen verschiedene Richtung haben.

---

[1] A. Kundt, *Poggendorff's Annalen* CXX. S. 118.

Man betrachte *Fig. 216 A* und *B;* die beiden linürten Flächen sind richtig gezeichnete Quadrate. Beide sollten höher als breit erscheinen der oben besprochenen Täuschung gemäfs. Das ist bei *A* auch in übertriebenem Maafse der Fall; *B* sieht umgekehrt zu breit aus.



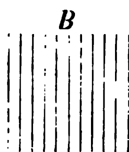




*Fig. 216.*

Dasselbe gilt für Winkel; man betrachte *Fig. 217*. Die Winkel *1*, *2*, *3*, *4* sind rechte Winkel, und sollten, mit beiden Augen gleichzeitig betrachtet, so erscheinen. Aber *1* und *2* erscheinen spitz, *3* und *4* stumpf; noch stärker wird die Täuschung, wenn man die Figur nur mit dem rechten Auge betrachtet; mit dem linken gesehen, sollten dagegen *1* und *2* stumpf erscheinen, wegen der oben erwähnten Abweichung des verticalen Meridians; sie erscheinen aber nur etwa als rechte, in ihrer wahren Form. Dreht man die Figur, dafs *2* und *3* nach unten sehen, so erscheint im Gegentheil *1* und *2* dem linken Auge übertrieben spitz, dem rechten richtig. Es erscheinen die getheilten Winkel also verhältnifsmäfsig immer gröfser, als sie ohne die Theilung erscheinen würden.

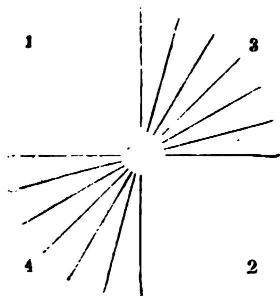



*Fig. 217.*

Die *Fig. 218* zeigt zwei gleichseitige Dreiecke; *A*, was horizontal getheilt ist, erscheint viel zu hoch, wie es auch ohne die Liniirung der Fall sein würde. In *B* dagegen erscheint der Winkel rechts an der Grundlinie gröfser als der links und die Spitze des Dreiecks nach rechts herübergerückt. Derselbe Einflufs zeigt sich bei vielen aus dem gewöhnlichen Leben bekannten Beispielen. Ein leeres Zimmer sieht kleiner aus als ein möblirtes, eine mit einem Tapetenmuster bedeckte Wand gröfser als eine einfarbig angestrichene. Damenkleider mit Querstrichen lassen die Figur höher erscheinen. Ein bekannter gesellschaftlicher Scherz ist es, dafs man
564 Jemandem einen cylindrischen Herrnhut zeigt und ihn auffordert, an der Wand vom Fufsboden ab anzuzeigen, wie hoch der Hut sei. Er macht ihn in der Regel anderthalb Mal zu hoch.



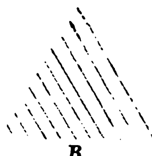




*Fig. 218.*

Hierher möchte auch eine von Bravais[1] beobachtete Thatsache gehören. Er berichtet: Wenn ein Beobachter, der sich auf dem Meere in einer gewissen Entfernung von einer Küste befindet, welche grofse Unregelmäfsigkeiten des Terrains darbietet, dieselbe so zeichnet, wie sie dem Auge erscheint, so findet er durch vergleichende mathematische Ermittlung, dafs

[1] Fechner, *Centralblatt*, 374—379; 558—561.

so erhaltenen Zeichnung die horizontalen Lineargröfsen nach den
;en Verhältnissen unter einander, die verticalen Winkeldistanzen aber
inem doppelten Maafsstabe geschätzt sind. Diese Täuschung, der man
:ürlich bei dieser Art Schätzungen unterliegt, ist nicht individuell, wie
auben könnte, vielmehr beweisen zahlreiche Beobachtungen ihre All-
heit. An diese Fälle schliefsen sich verschiedene in neuerer Zeit
ıt gemachte optische Täuschungen an.

an betrachte *Fig. 219 A.* Nicht *d* erscheint als Fortsetzung der Linie *a*, ; in der That ist, sondern ar *f*, welches etwas niedriger Noch auffallender ist diese ung, wenn die Figur in em Mafsstabe ausgeführt ist, *B*, wo die beiden Stücke ınnen Linien wirklich Ver- ıngen von einander sind, aber so scheinen, und in *C*, wo scheinen, aber es nicht sind. et man solche Figuren wie *A*, las Stück *d*, und betrachtet immer gröfserer Entfernung nöthigenfalls die Accommo- des Auges durch Brillen- verbessert wird), so dafs sie in immer kleinerer scheinbarer Gröfse nen, so findet man, dafs man *f* immer weiter herunterrücken mufs, es als Verlängerung von *a* erscheine, je ferner und scheinbar kleiner zur ist.

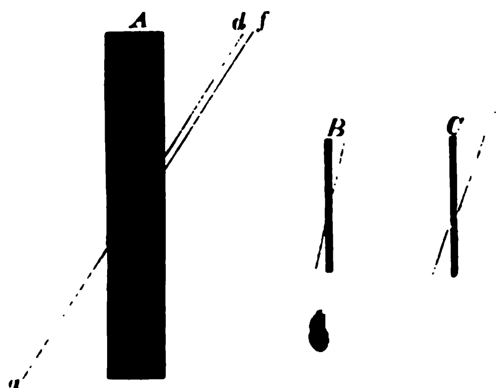


Fig. 219.

acht man die dünnen Linien sehr lang, wie in *Fig. 220 A*, so wird ·merken, dafs sie in der Nähe der breiteren zen Linie so eingebogen erscheinen, wie ich übertrieben in *B* gezeichnet habe, dafs die teren Enden der dünnen Linie allerdings ichtig als Verlängerungen von einander er- ɔn, und dafs nur durch jene Einbiegungen Nähe der sie schneidenden starken Linie :hein entsteht, als träfen sie nicht auf er.



Fig. 220.

s sind dies nun gerade die Erscheinungen, in diesem Falle die Irradiation hervor- ı mufs, und es ist schwer zu scheiden, r angehört und was etwa noch daran durch Umstände, wie sie theils schon erwähnt heils bei den folgenden Täuschungen noch ıt werden sollen, bewirkt wird. Dafs auch 565

Irradiation von schwarzen Linien auf weifsem Grunde vorkommt, ist schon oben S. 398—400 erörtert worden. Nahe dem Scheitel der beiden spitzen Winkel treffen die Zerstreuungskreise der beiden schwarzen Linien zusammen und verstärken sich gegenseitig; dadurch rückt das Maximum des Dunkels in dem Netzhautbilde der schmalen Linie dem breiten Streifen näher und sie erscheint gegen diesen hingelenkt. Bei den in gröfserem Maafsstabe gezeichneten Figuren derselben Art, wie *Fig. 219 A*, kann indessen kaum Irradiation der einzige Grund sein.

Die *Fig. 221 A* und *B* zeigt Beispiele, welche von Hering angegeben wurden; die geraden und parallelen Linien *a b* und *c d* erscheinen in *A* nach aufsen, in *B* nach innen gebrochen.

Am auffallendsten aber ist das in *Fig. 222* gegebene, von Zoellner veröffentlichte Beispiel. Die verticalen schwarzen Streifen der letzteren Figur sind

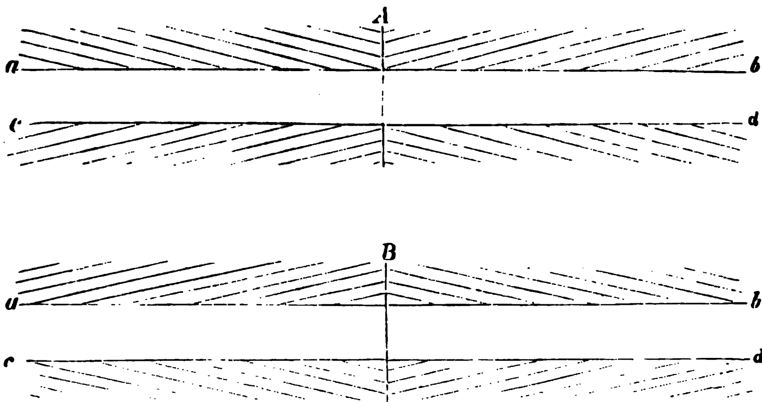



*Fig. 221.*

einander parallel, erscheinen aber convergent und divergent, so dafs sie immer in entgegengesetzter Richtung von der Verticalen abzuweichen scheinen, als die kurzen schrägen Striche, von denen sie geschnitten werden. Dabei sind die Hälften der schrägen Striche so gegen einander verschoben, wie die Hälften der schmalen Linien in *Fig. 219*. Dreht man die Zeichnung so, dafs die breiten Verticalstriche unter 45° gegen den Horizont geneigt erscheinen, so wird die scheinbare Convergenz auffallender, dagegen die scheinbare Verschiebung der Hälften der dann horizontal und vertical liegenden Querstriche weniger auffallend. Die verticalen und horizontalen Linien werden also im Ganzen weniger in ihrer Richtung verändert, als die schräg durch das Gesichtsfeld laufenden.

566 Diese zuletzt beschriebenen Täuschungen kann man betrachten als neue Beispiele für die oben gegebene Regel, dafs spitze Winkel, als deutlich abgegrenzte kleine Gröfsen, in der Regel verhältnifsmäfsig zu grofs erscheinen, wenn wir sie mit stumpfen oder rechten ungetheilten Winkeln ver-

hen. Wenn nun die scheinbare Vergröfserung eines spitzen Winkels so ıieht, dafs seine beiden Schenkel scheinbar nach aufsen rücken, so müssen Täuschungen in den *Fig. 219*, und *222* eintreten. In *Fig. 219* en sich die dünnen Linien dabei nbar um den Punkt drehen, wo ı den dicken Streifen eintreten dann nicht mehr in gegen- ;er Verlängerung liegen. In *221* werden die beiden Hälften der beiden geraden Linien ır scheinbar so verstellt, dafs die spitzen Winkel, die sie den schrägen Linien machen, öfsern. Dasselbe geschieht nbar mit den Verticalstreifen *Fig. 222.*

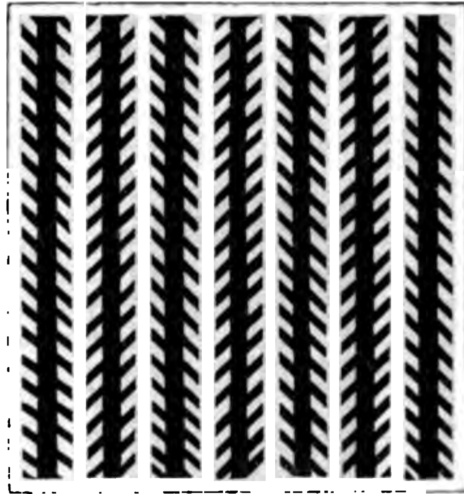


*Fig. 222.*

Indessen ist in den Fällen von *221* und *222* die angegebene che unter gewöhnlichen Ver- issen nur an einem kleinen Theile der Wirkung Schuld; und der ere Theil der Wirkung hängt, wie ich gefunden habe, von Bewegungen Augen ab. Die genannten Täuschungen schwinden nähmlich ganz, bleiben nur in schwachen Resten bestehen, wenn ich einen Punkt Zeichnungen so fixire, wie es nöthig sein würde, um ein Nachbild zu ickeln, und wenn es gelingt, ein scharf gezeichnetes Nachbild zu ten, was namentlich für das Zoellner'sche Muster *Fig. 222* möglich o ist in dem Nachbilde keine Spur der Täuschung mehr zu erkennen.

In *Fig. 219* hat Bewegung des Blicks keinen deutlichen Einflufs auf tärkung der Täuschung, im Gegentheile verschwindet diese, wenn ich der en Linie *a d* mit dem Blicke folge. Dagegen verschwindet die Täuschung kehrt durch Fixation verhältnismäfsig leicht bei *Fig. 221*, schwerer bei *222*. Doch kann ich sie auch bei dieser letztern Figur beseitigen, wenn est fixire und nicht die schwarzen Streifen als Objecte, die auf weifsem de liegen, betrachte, sondern die weifsen Streifen gleichsam als Zweige mit erblättchen, die auf schwarzem Grunde liegen, aufzufassen suche. Sobald lies gelingt, sehe ich alles richtig. So wie ich dann aber anfange, den Blick die Zeichnungen hin zu bewegen, ist die Täuschung in voller Stärke wieder da.

Auch gelingt es bei diesen Figuren die Täuschung ganz oder fast ganz ermeiden, wenn man sie zuerst mit einem undurchsichtigen Papiere ckt, über dieses eine Nadelspitze als Fixationspunkt unbeweglich hinhält, 567
während man diese ganz scharf und sicher fixirt, das bedeckende Papier hen ihr und der Zeichnung fortzieht. Ob man gut fixirt hat, kann man der Schärfe des dabei ausgebildeten Nachbildes beurtheilen.

Die sicherste und leichteste Methode, den Einfluſs der Augenbewegungen zu beseitigen, ist die Beleuchtung mittels des elektrischen Funkens, weil während der auſserordentlich kurzen Dauer eines solchen Funkens das Auge keine merkliche Bewegung ausführen kann. Dazu benutze ich einen hölzernen innen schwarz angestrichenen Kasten *A B C D*, *Fig. 223.* Bei *f* in der vorderen und bei *g* in der hinteren Wand waren in der Entfernung der Augen von einander je zwei Löcher[1] eingebohrt worden. Durch die Löcher *f* blickte der Beobachter hinein, vor die Löcher *g* wurden innen die Zeichnungen befestigt, welche selbst mit einem Nadelstich durchbohrt waren, der auch ohne die elektrische Entladung in dem übrigens ganz dunklen Kasten gesehen und fixirt werden konnte. An seiner untern Seite, die auf der Tischplatte *B D* ruht, ist der Kasten offen; wenn man die Zeichnung wechseln will, kehrt man ihn um und greift hinein. Das Zimmer wurde mäſsig dunkel gemacht, so daſs der Beobachter die elektrischen Apparate noch sehen und handhaben konnte, daſs aber doch im Innern des Kastens nichts auſser jenen Nadelstichen sichtbar war. Die Drähte, welche zur Zuleitung der Elektricität dienen, sind *h i*, bei *k* ist die Unterbrechungsstelle; *l* ist ein Kartenstreifen, der auf der dem Funken zugekehrten Seite weiſs ist und das Licht desselben vom Auge des Beobachters abhält, es dagegen nach der Zeichnung hinwirft. Die Funken wurden durch die secundäre Spirale eines groſsen Inductionsapparates von Ruhmkorff, die mit den Belegen einer Leydener Flasche verbunden war, gegeben. Den Schluſs der primären Spirale und deren Unterbrechung brachte der Beobachter mit der Hand hervor.[2]

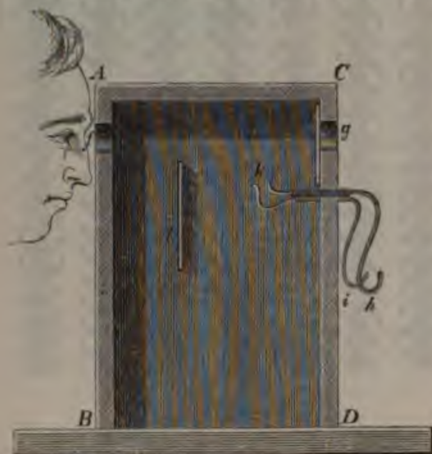


*Fig. 223.*

Es fand sich, daſs bei elektrischer Beleuchtung die Täuschung bei der *Fig. 219* unverändert blieb, dagegen bei den Zeichnungen der *Fig. 221* ganz schwand, bei *222* nicht immer ganz fehlte, aber, falls sie eintrat, viel schwächer und zweifelhafter war, als sonst, während doch andererseits die Beleuchtung durch den elektrischen Funken vollkommen genügend war, um die Formen der gerade gesehenen Gegenstände deutlich zu erkennen.

Es sind also zwei verschiedene Erscheinungen zu erklären, nämlich erstens der geringere Grad der Täuschung, der bei Vermeidung der Augen-

[1] Je zwei Löcher, weil der Apparat namentlich auch für stereoskopische Versuche gebraucht werden sollte.

[2] Beim Mangel hinreichend starker elektrischer Apparate kann das von Volkmann construirte Tachistoskop dienen (*Leipz. Sitzungsb.* 1850, p. 90–98), auf welchem ein fallender Schieber für einen Moment die eine oder zwei Oeffnungen öffnet, durch die der Beobachter blickt.

bewegungen eintreten kann, und zweitens die Verstärkung der Täuschung 568
durch Bewegung des Auges. In ersterer Beziehung genügt, wie ich glaube, das Gesetz des Contrastes, wonach ein deutlich wahrnehmbarer Unterschied gröfser erscheint, als ein weniger deutlich wahrnehmbarer. Am deutlichsten wahrnehmbar ist im indirecten Sehen die Uebereinstimmung der Richtung gleichartiger Raumgröfsen. Die Abweichung des Schenkels eines spitzen oder stumpfen Winkels von der Richtung des anderen Schenkels im Schnittpunkt wird deutlicher wahrgenommen, als die Abweichung desselben Schenkels von dem nicht gezeichneten Loth, welches auf dem anderen Schenkel senkrecht steht. Somit erscheint der Unterschied eines Winkels von 0° oder 180° relativ zu grofs gegen den von 90°; ein spitzer Winkel also zu grofs, ein stumpfer zu klein. Indem diese scheinbare Vergröfserung der Winkel auf beide Schenkel vertheilt wird, entstehen die scheinbaren Verschiebungen und Richtungsänderungen der Schenkel. Scheinbare Verschiebungen der Linien, wobei sie ihrer wirklichen Richtung parallel bleiben, werden schwer corrigirt, daher die Täuschung der *Fig. 219* verhältnifsmäfsig am hartnäckigsten ist. Richtungsänderungen dagegen können durch eine genauere Betrachtung der Figur leichter erkannt werden, wenn dadurch scheinbare Nichtübereinstimmung zwischen übereinstimmenden Linien hervorgebracht worden ist, und nur dadurch, dafs in *Fig. 221* und *222* die übereinstimmenden Linien, welche verändert erscheinen, durch die grofse Zahl kreuzender schräger Linien einander im Anblick unähnlich gemacht werden, ist es wohl überhaupt möglich, dafs ihre Uebereinstimmung übersehen werden kann.

Jetzt haben wir noch den Einflufs der Bewegung auf die scheinbare Richtung gesehener Linien zu untersuchen. Einfache Versuche zeigen, dafs selbst bei einfachen geraden Linien ein solcher Einflufs besteht, wenn die Richtung der Bewegung unter einem spitzen Winkel gegen die Richtung der Linie geneigt ist. Da wir eine überwiegende Neigung haben, bei den Bewegungen unseres Auges der Richtung der hervorstechenderen Linien des Gesichtsfeldes zu folgen, so ist es bei diesen Versuchen nöthig, den Blickpunkt im Blickfelde so, wie man es beabsichtigt, zu führen mittels einer Spitze, die man fortdauernd fixirt und über die betreffende Zeichnung hingleiten läfst.

Man ziehe auf einem Papier eine lange gerade Linie *A* und bewege die Spitze, welche man fixirt, in Richtung einer zweiten geraden Linie *B*, welche die erste unter einem sehr kleinen Winkel schneidet. Die zweite gerade Linie braucht nicht gezeichnet zu sein; doch schadet es auch nicht, wenn sie wirklich sichtbar gezogen wird. Wenn man der bewegten Spitze mit dem Blicke folgt, so scheint dabei die gerade Linie *A* auf dem Papier eine Bewegung gegen die Nadelspitze hin oder von ihr weg zu machen, je nachdem sich die Nadel ihr nähert oder von ihr entfernt. Das Bild der Linie *A* verschiebt sich dabei auf der Netzhaut theils parallel sich selbst, theils in Richtung der Breite. Die erstere Bewegung wird wenig oder gar nicht bemerkt, wenn die Linie lang ist und keine deutlich gezeichneten

Merkpunkte besitzt; die zweite Bewegung senkrecht zu ihrer Länge wird dagegen desto deutlicher bemerkt.

Dabei scheint auch die Richtung der Linie *A* verändert, und zwar so,
569 dafs der Winkel, den sie mit der Linie *B* macht, in der sich die Spitze bewegt, vergröfsert erscheint. Das letztere erkennt man am besten, wenn man eine gerade Linie *ab*, *Fig. 224*, zieht, und eine Spitze eines Zirkels

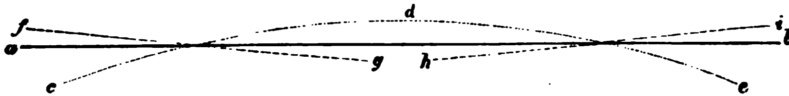



*Fig. 224.*

so auf das Papier aufsetzt, dafs die andere sich in dem Bogen *c d e* hin- und herbewegen kann. Wenn man dann dieser beweglichen Spitze mit dem Auge folgt, so scheint die Linie *a b* sich abwärts zu bewegen, so lange man die Zirkelspitze von *c* nach *d* gehen läfst, aufwärts, wenn sie von *d* nach *e* geht. Gleichzeitig erhält die ganze Linie *a b* scheinbar eine Richtung wie *f g*, so lange sich der Blick des Beobachters der Spitze folgend längs *c d* bewegt, und eine Richtung wie *h i*, wenn er sich zwischen *d* und *e* bewegt. Während man bei der Bewegung von *c* nach *e* durch den höchsten Theil des Bogens bei *d* hindurchgeht, verändert die Linie *a b* deutlich ihre Richtung.

Wenn man nun über das Zoellner'sche Muster horizontal von rechts nach links eine Nadelspitze führt und ihr mit dem Blicke folgt, so kommt die Figur in die seltsamste Unruhe; der erste, dritte, fünfte schwarze Streifen steigen aufwärts, der zweite, vierte, sechste abwärts; oder umgekehrt, wenn die Richtung der Bewegung umgekehrt wird. Dabei erscheinen die aufwärtssteigenden den abwärtssteigenden nicht parallel, sondern theils gegen einander, theils auch gegen die Ebene der Zeichnung in entgegengesetzter Weise geneigt, und zwar neigen sich die aufwärtssteigenden mit ihrem oberen Ende der Richtung, in der die Nadelspitze bewegt wird, entgegen, die abwärtssteigenden mit demselben Ende dagegen im Sinne der genannten Richtung, so dafs also in besonders auffallender Weise während dieser Scheinbewegung die eigenthümliche Täuschung durch die beschriebene Figur zum Vorschein kommt.

Um die Scheinbewegung recht deutlich zu sehen, mufs man eine mittlere Geschwindigkeit mit der Nadelspitze einhalten, die weder zu grofs noch zu klein sein darf, und mufs den Blick ganz fest an die Nadelspitze heften. Wenn es nicht gleich gelingt, kann man auch die Nadelspitze fest stellen und fest betrachten und hinter ihr die Zeichnung vorbeiziehen. Die Ursache der Scheinbewegung ist offenbar dieselbe, wie bei dem oben beschriebenen Versuche mit der einzelnen geraden Linie. Wir nähern uns in geneigter Richtung den schrägen Querstrichen und diese scheinen sich deshalb zu bewegen; sie nehmen dabei die verticalen schwarzen Streifen, mit denen sie verschmolzen sind, gleichsam mit. Wenn nun der schwarze verticale Streifen,

dem wir uns nähern, dabei eine verticale Bewegung zeigt nach aufwärts, so ist dies eine ähnliche Erscheinung, als wir haben würden, wenn wir uns ihm nicht in senkrechter Richtung näherten, sondern unter einem spitzen Winkel, dessen Spitze nach abwärts sieht, und umgekehrt bei den abwärtssteigenden Streifen ist die Scheinbewegung dieselbe, als wenn wir uns ihnen näherten unter einem spitzen Winkel, dessen Spitze nach aufwärts sieht.
Da nun aber die Richtung der wirklichen Bewegung unseres Blicks für alle 570
Streifen dieselbe ist, so erscheinen uns umgekehrt die Streifen gegen die Bewegungslinie des Blicks geneigt, die aufsteigenden mit dem oberen Ende der Richtung dieser Bewegung entgegen, die absteigenden ihr folgend, wie in *Fig. 225* angezeichnet ist, wo *a b* die Richtung bezeichnen soll, in der sich der Blick bewegt, *c c*, *d d*, *e e*, *f f* die scheinbare Lage der verticalen Streifen in übertriebener Divergenz, und die Pfeile neben diesen letzteren Linien die Richtung, in der sich so gestellte Linien scheinbar bewegen würden, wenn der Blick in Richtung der horizontalen Pfeile fortgleitet.

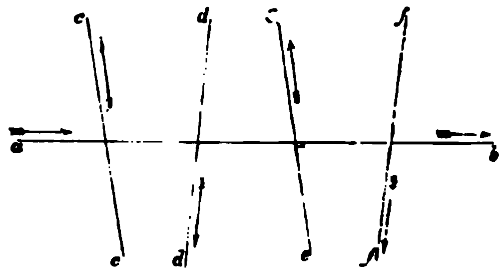


Fig. 225.

Macht man die Bewegung der Spitze, der das Auge folgt, allmählich langsamer, so wird auch die Scheinbewegung langsamer, wird leichter übersehen, kann aber bei einiger Aufmerksamkeit erkannt werden, und gleichzeitig finde ich, dafs die scheinbare Divergenz der verticalen Streifen sich weniger bestimmt zeigt. Ohne Hilfe einer leitenden Spitze kommt weder die Scheinbewegung der Streifen noch ihre scheinbare Divergenz so schön zum Vorschein, wie mit einer solchen, wahrscheinlich weil wir unseren Blick über eine Zeichnung mit so hervortretenden Liniensystemen nicht so gleichmäfsig und so geradlinig hingleiten lassen können. Da übrigens die Täuschung über die Richtung der Streifen mit der über ihre Bewegung gleichzeitig wächst und fällt, so zweifle ich nicht, dafs auch die Verstärkung der Täuschung bei den gewöhnlichen Bewegungen des Blicks dieselbe Ursache habe.

Führt man die fixirte Nadelspitze parallel den verticalen Streifen über die Zeichnung, so wird die Täuschung nicht nur nicht verstärkt, sondern sogar geschwächt oder ganz beseitigt. Die verticalen Streifen zeigen sich dann als parallele Richtlinien im Blickfelde dadurch, dafs ihre Netzhautbilder sich in sich selbst verschieben.

Der hier beschriebene Einflufs der Scheinbewegung der verticalen Streifen auf die scheinbare Gröfse des Winkels zwischen ihnen und der Bewegungsrichtung des Blicks läfst sich übrigens ganz ebenso an einem wirklich bewegten Körper zeigen. Man lege einen mit Theilstrichen versehenen Maafsstab in horizontaler Richtung auf ein Blatt Papier, setze dicht

neben ihm die eine Spitze eines weit geöffneten Zirkels ein und bewege die andre nahe über der Kante des Maafsstabes hin und her; sie wird sich dabei genau normal zur Richtung des Maafsstabes bewegen. Jetzt bewege man auch den Maafsstab in seiner eigenen Richtung hin und her, so wird die Bewegungslinie der Zirkelspitze durchaus nicht mehr senkrecht zur Richtung des Maafsstabes, sondern sehr stark geneigt gegen diese erscheinen, wie sie sich denn in der That in einem am Maafsstabe festen Coordinatensystem wirklich als geneigt darstellen würde, während sie, auf ein absolut
571 festes Coordinatensystem bezogen, senkrecht zur Kante des Maafsstabes bleibt. Die Veränderung des Winkels ist übrigens in diesem Falle viel bedeutender als an der ZOELLNER'schen Figur, weil bei dieser die scheinbare Lagenveränderung nie so weit gehen kann, dafs die verschobenen Streifen gegen einander stofsen oder gar sich kreuzen, was dem Bilde des indirecten Sehens zu sehr widersprechen würde.

Die HERING'schen Beispiele, *Fig. 221*, bieten dieselben Verhältnisse nur in weniger auffallendem Grade. Die Täuschung wird bei ihnen verstärkt durch Bewegungen des Blicks zwischen oben und unten, geschwächt durch solche von rechts nach links.

Es kann vielleicht auffallen, dafs ich zweierlei anscheinend so verschiedene Ursachen zur Erzeugung derselben Täuschungen zusammenwirken lasse. Wenn man sich aber erinnert, dafs nach der hier vorgetragenen Ansicht die Kenntnifs der Ausmessungen des Sehfeldes im indirecten Sehen auf Erinnerung an frühere bei Bewegungen gemachte Erfahrungen beruht, während bei bewegtem Blick neue ähnliche Eindrücke hinzukommen, so ergiebt sich, dafs die beiden Ursachen nicht so verschieden sind, wie sie in der Auseinandersetzung zu sein scheinen; sie sind nur unterschieden wie Erinnerung und gegenwärtige Anschauung analoger Verhältnisse.

Es kommt durch diese Verhältnisse eine Art Contrast für die Richtungen von Linien und für die Entfernungen zu Stande von ähnlicher Wirkung, wie wir ihn in § 24 für die Lichtstärken und Farben kennen gelernt haben. Die Unterschiede nahe gleicher Richtungen erscheinen vergröfsert; dadurch dafs wir eine Linie von einer oder vielen andern geneigten Linien schneiden lassen, wird sie scheinbar nach der entgegengesetzten Seite geneigt, als jene. Die Erscheinungen des Contrastes der Lichtstärken und Farben liefsen sich mit Hilfe der Hypothese von Th. YOUNG auf die Vergleichung verschieden starker, aber qualitativ gleicher Erregungen der Fasern zurückführen. Wollte man sich die Localzeichen der Netzhautfasern als Empfindungen von zwei, irgend welchen zwei Coordinatenrichtungen entsprechenden Qualitäten denken, deren Intensität sich continuirlich in der Fläche änderte, so würden die Contraste der Richtungen gerade auf dieselben Eigenthümlichkeiten der Unterscheidung der Empfindungsstärke zurückzuführen sein, wie die der Farben. Da es aber gelang, den Einflufs der Augenbewegungen auf direct sichtbare Erscheinungen zurückzuführen, so können wir eine solche Hypothese vorläufig auf sich beruhen lassen. Uebrigens hat auch ZOELLNER bei seiner

Beschreibung der Täuschung an dem Muster der *Fig. 222* dieselbe auf die Bewegungen des Auges zurückzuführen gesucht. Ganz unzulässig erscheint mir dagegen die von E. Hering gegebene Erklärung. Derselbe meint, dafs wir die Entfernung zweier Punkte nach der geradlinigen Entfernung ihrer beiden Netzhautbilder beurtheilen. Demgemäfs werden nach ihm im Allgemeinen kleine Entfernungen relativ gröfser gesehen als grofse ungetheilte, weil bei kleinen Bögen der Unterschied zwischen dem Bogen und der Sehne, welche die Distanz seiner Enden mifst, relativ kleiner ist, als bei grofsen. Eben deshalb sollen kleine Winkel stets relativ zu grofs im Vergleich zu ihren gröfseren Nebenwinkeln gesehen werden. Auf dasselbe Princip hat auch A. Kundt eine ausführlichere Theorie dieser Erscheinungen zu gründen 572
gesucht und Messungen in der schon oben erwähnten Weise ausgeführt, die sie stützen sollen,[1] indem er ungetheilte Linien nach dem Augenmaafs getheilten Linien gleich zu machen suchte. Für eine gewisse Länge der Linien stimmen auch Beobachtung und Berechnung ziemlich gut überein, aber bei kleineren Linien ist die Differenz fast doppelt so grofs, als sie nach dem aufgestellten Erklärungsprincip sein sollte. Herr Kundt findet nämlich

| Gesichtswinkel für die zu vergleichenden Distanzen | Fehler beobachtet | Fehler berechnet |
|---|---|---|
| 20° 14′ | 4,40 | 4,62 |
| 19° 41′ | 3,31 | 4,47 |
| 12° 47′ | 1,48 | 0,84 |

Ich mufs hinzufügen, dafs die Täuschungen auch bei viel kleineren Figuren bestehen bleiben, bis die Objecte sich der Grenze des deutlichen Sehens nähern, und dafs bei so kleinen Objecten ein Unterschied zwischen dem Bogen und der Sehne nicht mehr merklich sein kann. Kundt selbst hat gefunden, dafs zum Beispiel seine *Fig. 4* bis auf 9 Fufs Entfernung die Täuschung zeigte, wobei zwischen den betreffenden Bögen und Winkeln selbst in der 5ten Decimale noch kein Unterschied vorhanden ist.

Ich halte deshalb das von Hering und Kundt gebrauchte Erklärungsprincip nicht einmal für einen richtigen Ausdruck der Thatsachen. Wollte man es gar als Erklärung der wirklichen Ursache der Erscheinungen auffassen, so müfste man die Annahmen der nativistischen Theorie dahin ausdehnen, dafs uns eine Kenntnifs unserer Netzhaut, und zwar nicht nur der räumlichen Anordnung der empfindenden Punkte auf ihr, sondern sogar ihrer Krümmung angeboren sei.

Zu erwähnen ist endlich noch, dafs in einer Reihe von Fällen die binoculare Körperanschauung störend auf die Vergleichung der Distanzen im Gesichtsfelde einwirkt. Es macht sich hierbei geltend, dafs unser natürliches Sehen Sehen von Körpern ist, und dafs alle unsere Uebung darauf abzweckt, die Dimensionen und Lagen der gesehenen Körper richtig zu beurtheilen.

---

[1] A. Kundt, *Poggendorff's Annalen*, 1863, CXX, 118—158.

Ich kann mit grofser Sicherheit erkennen, ob mein Zeigefinger dicker oder dünner ist, als eine an dem entgegengesetzten Ende des Zimmers befindliche Gasröhre, obgleich ein kolossaler Unterschied in der scheinbaren Gröfse beider Körper vorhanden ist. Dagegen bin ich sehr unsicher, ob mein Zeigefinger, wenn ich ihn in einer bestimmten Enfernung vom Auge halte, dieselbe scheinbare Gröfse hat, wie ein an der anderen Seite des Zimmers befindliches Buch, oder etwa wie der Mond, vorausgesetzt, dafs ich die zu vergleichenden Objecte nicht im Gesichtsfelde nahe an einander bringe. Ich finde vielmehr, dafs ich eine sehr starke Neigung habe, den Gesichtswinkel, unter dem der Finger erscheint, für viel kleiner als den des Buches oder des Mondes zu halten, bis ich beide ganz nahe zusammenbringe oder sich im Gesichtsfelde decken lasse.

Damit scheint es mir auch zusammenzuhängen, dafs wir, wie die Versuche
573 von Kundt zeigen, wenn wir eine horizontale Linie zu halbiren suchen, für das rechte Auge deren rechte Hälfte, für das linke Auge die linke zu grofs zu machen pflegen. Bei einer Linie von 100 Millimeter Länge, aus 226 Millimeter Entfernung gesehen, verlegte das linke Auge die Mitte im Durchschnitt von 40 Beobachtungen auf 50,33 Millimeter vom linken Ende entfernt, das rechte Auge nur 49,845 von demselben entfernt. Diese Abweichungen der scheinbaren von der wahren Mitte, 0,33 und 0,155 Millim. betragend, sind übrigens viel kleiner als die Abweichungen der einzelnen Beobachtungen vom Mittel, deren mittlerer Fehler 0,50 und 0,66 betrug, so dafs eben nur in einer grofsen Zahl von Versuchen die genannte Abweichung sichtbar wird.

Diese Abweichung kann, wie mir scheint, dadurch veranlafst sein, dafs wir beim binocularen Betrachten einer halbirten Linie diese symmetrisch zum Kopfe vor die Mitte des Gesichts zu halten pflegen, und wir deshalb gewöhnt sind, die rechte Hälfte mit dem rechten Auge gröfser zu sehen, die linke mit dem linken.

Zum Schlufs der Beschreibung des Sehfeldes ist noch über seine Grenzen und Lücken zu reden. Seine Ausdehnung umfafst alle Punkte des uns umgebenden Raums, von denen durch die Pupille noch Licht eindringen und noch auf empfindende Theile der Netzhaut fallen kann. Ausgeschlossen vom Sehfelde sind diejenigen Theile des Raums, namentlich also die hinter uns liegenden, von denen niemals Licht auf dem normalen Wege unsere Netzhaut erreichen kann. Die Fläche unseres Sehfeldes entspricht also dem nach aufsen projicirten Bilde unserer Netzhaut und die Grenze des Sehfeldes der Grenze der Netzhaut. Wir sind uns dieser Begrenzung bewufst, wir wissen, dafs wir von den hinter uns liegenden Objecten durch das Gesicht nichts wahrnehmen, und können bei einiger Aufmerksamkeit auf das Feld des indirecten Sehens angeben, welche Gegenstände an dem Rande des Sehfeldes noch erscheinen, welche nicht, so weit die grofse Undeutlichkeit des Sehens mit den äufsersten Theilen der Netzhaut dies eben erlaubt. Dabei ist zu bemerken, dafs in der Empfindung ein wesentlicher Unterschied

ist zwischen dem Theile des (verlängert gedachten) Sehfeldes, der überhaupt niemals gesehen werden kann, und dem sichtbaren Theile desselben, wenn er wegen Lichtmangels zeitweilig nicht gesehen wird. Bei Abschlufs alles äufseren Lichtes haben wir ein bestimmt begrenztes dunkles Feld vor unsern Augen; wir sind uns aber wohl bewufst, dafs wir dabei den hinter uns gelegenen Raum nicht dunkel sehen, sondern dafs wir ihn gar nicht sehen. Die Empfindung des Dunkels ist die Empfindung des Ruhezustandes oder, wenn man will, der Mangel von Empfindung in Theilen unseres Sehnervenapparates, die erregt werden könnten, wenn ein Reiz auf sie wirkte. Ihr entspricht in der Wahrnehmung die Vorstellung vor uns gelegener Theile des Raums, welche unserem Auge kein Licht zusenden, was also eine bestimmte, wenn auch negative Aussage über den objectiven Zustand dieser Theile des Raums enthält. Den nicht sichtbaren Theilen des Raums entspricht aber auch kein empfindendes Organ, welches den Zustand seiner eigenen Ruhe bemerken und unterscheiden könnte. In der Wahrnehmung wird über sie gar nichts ausgesagt, als dafs wir nichts über sie wissen, weder ob sie hell, noch ob sie dunkel seien. Beides ist wohl zu unterscheiden.

Nun giebt es aber auch innerhalb der äufseren Begrenzungslinie unseres 574
Sehfeldes eine Lücke, entsprechend der für Licht unempfindlichen Eintrittsstelle unseres Sehnerven, wo wir nichts sehen. Die Lage und Ausdehnung dieser Stelle ist im Anfange von § 18 bestimmt worden; dort wurde auch erwiesen, dafs sie wirklich unempfindlich für Licht sei. Wir haben jetzt zu untersuchen, wie uns die entsprechende Stelle des Sehfeldes erscheint.

Der gewöhnliche Fall ist, dafs wir gar nicht im Stande sind zu bemerken, dafs eine Lücke im Sehfelde sei, oder unsere Aufmerksamkeit auf das, was in der Lücke erscheinen sollte, festzuheften. Dies ist nicht nur der Fall, wenn die Anschauung der Objecte, welche in die Lücke fallen, ergänzt wird durch die Wahrnehmungen des anderen offenen Auges, oder falls dies geschlossen ist, ergänzt wird durch Bewegungen des einen geöffneten Auges, wobei die Lücke ihren Platz im Gesichtsfelde stets wechselt und daher, was von den Objecten in dem einen Augenblicke nicht gesehen wird, im andern erkannt werden kann. Wir bemerken vielmehr auch bei festgeheftetem Blicke die Lücke nicht, wenn der der Lücke benachbarte Theil des Sehfeldes einen gleichmäfsig erhellten und gefärbten Grund darstellt; es erscheint uns vielmehr dann dieser ganze Theil des Feldes ohne Unterbrechung von der Farbe des Grundes ausgefüllt. Was für nicht gesehene Objecte sich dabei in der Lücke des Sehfeldes wirklich befinden, ist natürlich ganz gleichgültig. Diese verschwinden eben, wie schon oben gezeigt worden ist. Es ist dabei zu bemerken, dafs wir überhaupt das indirecte Sehen gewöhnlich nicht benutzen, um uns über die Form, Gröfse und Ordnung der in ihm gesehenen Gegenstände Auskunft zu verschaffen, sondern dafs es hauptsächlich nur dazu dient, eine Art roher Skizze von der Umgebung des fixirten Punktes, auf den unsere Aufmerksamkeit gerichtet ist, zu geben und um unsere Auf-

merksamkeit jeder etwa neu auftretenden oder ungewöhnlichen Erscheinung, die im seitlichen Theile des Sehfeldes zum Vorschein kommt, sogleich zuzulenken. Ein Theil des Sehfeldes nun, der wie der blinde Fleck niemals irgend welche, also auch keine auffallende Erscheinung darbieten kann, wird daher unter gewöhnlichen Umständen niemals Gegenstand der Aufmerksamkeit. Ja ich habe gebildete und unterrichtete Leute, selbst Aerzte, gekannt, denen es nicht gelang, sich von dem Verschwinden kleiner Objecte an dieser Stelle zu überzeugen. Wenn wir dann durch physiologisch optische Versuche uns üben, Gegenstände im indirecten Sehen zu erkennen, so sind es doch zunächst nur gröfsere durch Helligkeit oder Färbung oder Bewegung von ihrer Umgebung abstechende Gegenstände, auf die wir unsere Aufmerksamkeit, ohne den Fixationspunkt zu ändern, lenken und deren Ordnung wir erkennen können. Aber unsere Aufmerksamkeit einer bestimmten, durch gar keinen sinnlichen Eindruck ausgezeichneten Stelle, wie es die Lücke des Sehfeldes ist, wenn sie auf gleichmäfsig gefärbten Grund fällt, im indirecten Sehen zuzuwenden, vermögen wir nicht.

Ich mufs hierbei jedoch bemerken, dafs ich in der letzten Zeit angefangen habe, beim Aufschlagen eines Auges gegen eine ausgedehnte weifse Fläche und bei kleinen Bewegungen des Auges oder bei eintretender
575 Accommodationsspannung den blinden Fleck als einen schattigen Fleck zu sehen, so dafs, wenn ich mit der Spitze des Zeigefingers darauf hinweise, mir die Fingerspitze verschwindet. Es ist dies eine subjective Erscheinung, welche mit den auf Seite 239 beschriebenen Erscheinungen zusammenhängt, und bald wieder schwindet, wenn man das Auge unbewegt geöffnet hält. Das ist also nur eine scheinbare, nicht eine wirkliche Ausnahme von dem Gesagten, denn dabei ist das Sehfeld subjectiv nicht einförmig erregt, sondern die Nachbarschaft des blinden Flecks durch besondere Erscheinungen ausgezeichnet, welche die Aufmerksamkeit auf diese Stelle zu fixiren im Stande sind. Dazwischen kommt es doch immer wieder vor, dafs ich ein helles Feld ansehe, ohne im Geringsten im Stande zu sein, ohne vorgängigen Versuch zu sagen, wo der blinde Fleck im Sehfelde liegt.



Fig. 226.

Anders verhält es sich, wenigstens für einen im indirecten Sehen etwas geübten Beobachter, wenn man Merkzeichen im Sehfelde anbringt, welche die Aufmerksamkeit gerade auf die Lücke hinzuleiten im Stande sind. Dazu kann man zum Beispiel sehr zweckmäfsig ein Kreuz brauchen, dessen verticaler Schenkel durch Farbe oder Helligkeit deutlich von dem

horizontalen, beide ebenso vom Grunde unterschieden sind, und deren Kreuzungsstelle vom blinden Fleck ganz überdeckt werden kann. *Fig. 226* stellt ein solches Kreuz dar. Die Marke *a* bezeichnet den Fixationspunkt. Die Zeichnung ist aus 16 Centimeter Entfernung anzusehen. Um sich zu überzeugen, dafs die Kreuzungsstelle ganz verschwindet, bedecke man sie mit einer farbigen Oblate, und wenn diese verschwunden ist, suche man bei gut fixirtem Blick zu ermitteln, ob der schwarze oder der weifse Schenkel des Kreuzes im Fixationspunkte oben auf liegt. VOLKMANN[1] und die meisten andern Beobachter, die diesen Versuch angestellt haben, glaubten bald den einen, bald den anderen Schenkel oben liegen zu sehen, öfter[2] den horizontalen, vielleicht weil der horizontale Durchmesser der Lücke geringer ist, als der verticale. Macht man aber den horizontalen Schenkel kürzer und kürzer, so überwiegt schliefslich die Farbe des vertikalen Schenkels. Ich habe selbst das früher auch so zu sehen geglaubt, seitdem ich aber durch vieles Beobachten eine gröfsere Uebung im indirecten Sehen erlangt habe, bin ich mir bei diesem Versuche ganz bestimmt bewufst, dafs ich die Kreuzungsstelle nicht wahrnehmen kann. Auch AUBERT, der einer der geübtesten Beobachter im indirecten Sehen ist, stimmt damit überein. Er sagt: „Trotz 576
vielfacher Uebung im indirecten Sehen und vielfacher Wiederholung der von WEBER, VOLKMANN und neuerdings von WITTICH angegebenen Versuche mufs ich schliefslich offen bekennen, dafs ich zu keinem Urtheile darüber kommen kann, in welcher Weise das Gesichtsfeld in dieser Stelle ausgefüllt wird. Ob ein Kreuz, welches von einer gelben und blauen Linie gebildet wird, an der Kreuzungsstelle, wenn diese auf den blinden Fleck fällt, in der einen oder anderen Farbe erscheint, weifs ich trotz hundertfacher Wiederholung des Versuches nicht anzugeben, ebenso wenig, ob zwei Parallellinien in der Mitte zusammenrücken oder nicht, oder ob eine Kreislinie, mag sie dick oder dünn sein, sich zum Kreise schliefst oder nicht.“[3]

Schwieriger ist es, die Aufmerksamkeit auf die Lücke zu richten, wenn nur eine geradlinige Contour ohne Unterbrechung durch die Lücke hinläuft. Man schiebe ein schwarzes Blatt Papier, was durch eine verticale gerade Linie begrenzt ist, von der Schläfenseite des Sehfeldes her über ein weifses Blatt hin, auf welchem man einen Punkt mit einem Auge fixirt, bis ein Theil der Grenzlinie in die Lücke des Sehfeldes fällt. Die meisten Beobachter glauben in diesem Falle die gerade Begrenzungslinie ununterbrochen fortlaufend zu sehen; aber auch in diesem Falle habe ich mich neuerdings überzeugt, dafs ich erkennen kann, wann und wo ich einen Theil der Linie nicht wahrnehme. Schiebe ich das schwarze Blatt vorwärts gegen den Fixationspunkt hin, so kann ich ganz genau den Augenblick erkennen, wo die beiden sichtbaren Enden der Begrenzungslinie zusammenschliefsen. Schwieriger ist es, deutlich zu erkennen, wann derselbe Moment beim Zurückziehen des

[1] A. W. VOLKMANN, *Berichte der Kgl. Sächs. Ges. d. Wissenschaften.* 30. April 1853. S. 40.
[2] W. v. WITTICH, Studien über den blinden Fleck, *Archiv für Ophthalmologie* 1863. IX. 3, p. 1—[illegible]
[3] H. AUBERT, *Physiologie der Netzhaut.* Breslau. 1865. S. 257—258.

… des blinden Flecks eintritt, weil hier
… ener ist. Wunderlich ist dabei,
… Erscheinung, dafs ich nirgends eine
… en Felde sehe, obgleich ich erkenne,
… slinie nicht sehen kann, dafs sich
… ichts einschiebt, und ich doch nicht
… ie Grenze sei. Auch kann ich nicht
… verwaschen in einander übergingen.
… ire wieder etwas bestimmt Wahrnehm-
… en mit dem Eindruck, den man hat, wenn
… che Objecte zu fixiren und zu erkennen
… bilder einzelne Theile der Zeichnung aus-

… einer geraden Linie, erkenne ich die Lücke,
… ner Kreislinie oder auf die Peripherie einer
… ich auch ziemlich gut angeben, wieviel von

… le vor mir eine grofse Zahl verschiedenartiger
… zu Stande, die Stelle des blinden Flecks sogleich
… ssen Unklarheit und Undeutlichkeit, wodurch sie
… ist zum Beispiel der Fall, wenn ich nach einem
… erten Tapete, einem mit Buchstaben bedruckten

… mufs ich behaupten, dafs überhaupt keinerlei Em-
… ecke entspricht, und dafs namentlich auch nicht etwa
… ungen aus der Nachbarschaft sich auf die Lücke des
… sondern bei genauer Beobachtung und bei Anwendung
… die Aufmerksamkeit auf den blinden Fleck hinzu-
… überzeugen, dafs dort die Empfindung fehlt. Man
… les Sehfeldes weder irgend etwas Helles oder Farbiges
… steht hier im strengen Sinne des Wortes Nichts, und
… ch nicht einmal als Lücke und Grenze des Sichtbaren
… wenn die Lücke des sichtbaren Sehfeldes selbst sicht-
… mufste sie in irgend einer Qualität des Sichtbaren er-
… nicht thut. Nur negativ können wir ihr Vorhandensein
… dafs wir beobachten, welches die letzten Objecte sind,
… Wenn wir dann ermitteln, dafs diese im Raume nicht
… so kommen wir zur Anerkennung der Lücke und ihrer
… und Gröfse. Da nun aber hierzu Localisirung der Gesichts-
… ist, und diese nach unserer Auffassung erst durch Erfah-
… wird, so beruht dieses Auffinden der Lücke in der That auf
… sie wird nicht unmittelbar empfunden.

… grofseren Lücke des Gesichtsfeldes hinter unserem Rücken
… sich übrigens ganz ähnlich, nur dafs uns ihre Anwesenheit besser

bekannt ist, als die des blinden Flecks, weil wir zu ihrer Ausfüllung zu keiner Zeit sinnliche Hilfsmittel gehabt haben, während die Lücke des blinden Flecks für gewöhnlich durch die Wahrnehmungen des andern Auges und durch die Bewegungen des Blicks genügend ausgefüllt und daher nicht als Mangel fühlbar wird. Auch die Grenze des Sehfeldes können wir nur negativ bestimmen, indem wir im indirecten Sehen aufsuchen, welche Objecte noch sichtbar sind, welche nicht. Wenn wir dagegen einen einförmigen Grund herstellen, zum Beispiel das Auge nach dem innern Augenwinkel drehen und ein durchscheinendes beleuchtetes Blatt Papier vorhalten, wobei dann gegen den äufsern Augenwinkel hin nichts von den Theilen unseres Gesichts mehr sichtbar wird, sondern allein die weifse Fläche: dann ist es absolut unmöglich zu sagen, wo diese helle Fläche aufhört und wo das Nichtsehen anfängt. Wäre dagegen dort irgend ein dunkler oder farbiger Fleck auf dem Papier, so würden wir sogleich die Richtung bestimmen können, in dem wir diesen sehen. Auch hier also kann sich das nicht Sichtbare nicht als Grenze des Sichtbaren geltend machen und von ihm abheben.

Anders verhält es sich nun, wenn wir in Folge unserer Empfindungen uns Vorstellungen von den Objecten bilden. Der objective Raum und die darin enthaltenen Objecte können kein Loch haben entsprechend der Lücke unseres Sehfeldes. Wir befinden uns dann im Wesentlichen in der Lage von Jemandem, der ein beflecktes oder durchlöchertes Gemälde betrachtet und daraus sich eine Anschauung von dem zu bilden sucht, was der Maler hat vorstellen wollen. Wenn hierbei ein Fleck auf irgend einen der untergeordneten Theile des Gemäldes fällt und die Ergänzung selbstverständlich ist, 578
so wird der Betrachtende den Fleck vielleicht kaum beachten, oder wenigstens in seiner Vorstellung der Objecte durch ihn gar nicht gehindert werden und in dieser Beziehung den Fleck als nicht vorhanden betrachten können. Sollte der Fleck also auf eine einförmig gefärbte Fläche oder auf eine gleichmäfsig gemusterte Fläche fallen, so wird der Beschauer ohne Weiteres sich die Lücke in seiner Vorstellung mit der Farbe des Grundes ausfüllen, er müfste denn ganz besondere Gründe haben zu vermuthen, dafs dort die Färbung oder das Muster ursprünglich abweichend gewesen sei. Und ebenso wird er die Ergänzung ohne alles Zögern und Schwanken machen, wenn der Fleck einen kleinen Theil einer geradlinigen Kante oder einer Kreisperipherie verdeckt. Erst wenn der Fleck auf wichtige Punkte des Gemäldes oder solche, deren Bedeutung nicht so ganz selbstverständlich ist, fällt, wird er die Aufmerksamkeit des Beschauers anziehen und ihn in der Vollendung seines Anschauungsbildes von den dargestellten Gegenständen stören.

Dieser Vergleich kann das Verhältnifs ungefähr klar machen; namentlich wenn man sich denkt, dafs der Fleck bei einem reichen und interessanten Gemälde auf seitlich gelegene und ganz unwichtige Nebensachen des Gemäldes fällt und nicht durch seine Farbe oder Helligkeit im Stande ist. die Aufmerksamkeit des Beobachters anzuziehen. Dann wird er möglicher Weise ebenso unentdeckt bleiben, wie die Lücke im Sehfelde es gewöhnlich

ist. Der Vergleich hinkt nur insofern, als der Fleck auf dem Gemälde etwas Sichtbares ist, auf welches die Aufmerksamkeit vollkommen leicht gefesselt werden kann, wenn sie einmal darauf hingelenkt war, während die Lücke des Gesichtsfeldes nicht die Qualität von etwas Sichtbarem hat und es ganz gegen unsere Gewöhnung und Uebung ist, die Aufmerksamkeit im Felde des indirecten Sehens anders als auf einzelne positiv auffallende Phänomene zu richten. In beiden Fällen bilden wir uns aus den vorhandenen positiven Momenten der Empfindung unsere Vorstellung von den Objecten aus, so gut es eben geht; nur dafs wir bei der Lücke des Sehfeldes sehr viel schwerer auf den Mangel des Anschauungsmaterials aufmerksam werden, als bei dem Fleck des Gemäldes. Volkmann sagt daher in dieser Beziehung mit Recht, dafs man die Lücke im Sehfelde durch einen Act der Einbildungskraft ausfüllt; nur mufs man hinzufügen, dafs diesem Acte der Einbildungskraft nicht die volle Evidenz der sinnlichen Anschauung zukommt, wenn auch in diesem Falle allerdings schwerer als in anderen ähnlichen Fällen zu ermitteln ist, dafs ein Mangel des sinnlichen Materials stattfindet. Eines der hübschesten Beispiele, was Volkmann für diese Ergänzung durch die Einbildungskraft anführt, ist, dafs wenn man die Lücke auf die bedruckte Seite eines Buches fallen läfst, man sie mit Druckschrift ausgefüllt zu sehen glaubt, welche man freilich nicht lesen kann. Aber allerdings ist diese Ausfüllung nur so lange scheinbar vorhanden, bis man sich durch genauere Aufmerksamkeit überzeugt, dafs man an der betreffenden Stelle gar nichts wahrnimmt. Die Thätigkeit der Einbildungskraft geht also keineswegs so weit, dafs dadurch die fehlende sinnliche Empfindung ersetzt und vorgespiegelt würde.

Es ist nun noch zu untersuchen, wie die räumlichen Abmessungen durch das Augenmaafs für die Punkte nahe der Lücke ausfallen. In dieser Beziehung
579 fallen die Aussagen verschiedener Beobachter sehr verschieden aus. Einige, wie namentlich v. Wittich, sehen die der Lücke nächstgelegenen Objecte gegen die Lücke hingezogen und diese dadurch ausgefüllt, Andere, wie E. H. Weber, Volkmann, ich selbst, sehen die umgebenden Theile in ihrer richtigen Lagerung, abgesehen von den Verziehungen, welche die seitlichen Theile des Gesichtsfeldes überhaupt erleiden. Bei wieder Anderen, wie bei Funcke, wechselt es, so dafs sie unter etwas veränderten Umständen bald das eine sehen, bald das andere.

Die Unterschiede zeigen sich namentlich deutlich bei folgendem von Volkmann erfundenen Versuche: Man setze neun Buchstaben, so wie $A$ bis $I$ in *Fig. 227*, und fixire mit dem rechten Auge aus einem Abstande von 20 Centimeter das Kreuzchen bei $k$, so wird $E$ in die Lücke fallen. Die Gröfse der Lücke ist für mein Auge unter diesen Umständen durch den gestrichelten Kreis angegeben, in dessen Mitte $E$ steht. Dadurch, dafs man eine kleine rothe Oblate auf $E$ legt und diese nach allen Seiten hin so weit vorschiebt, dafs sie eben anfängt sichtbar zu werden, kann man controlliren, wie grofs die Lücke ist und ob auch keiner der anderen Buchstaben dadurch

verdeckt wird. Sehr gut läfst sich ein entsprechendes Muster auch herstellen mittels verschiedenfarbiger Oblaten, welche man an Stelle der Buchstaben hinlegt. An einem Muster, wie *Fig. 227*, sehen Volkmann und ich selbst die neun Buchstaben *A B C D F G H I* als Seiten eines Quadrats, in geraden Linien stehend, wie sie wirklich stehen, und die Mitte desselben leer. Wittich dagegen sieht statt der geraden Seiten des Quadrats vier gegen die Mitte convexe Bögen *ABC*, *CFI*, *IHG*, *GDA*. Funcke[1] sieht sie convex wie Wittich, wenn keine anderen geraden Linien in der Nähe sind, mit denen er ihre Form vergleichen kann, dagegen gerade gestreckt, wie Volkmann, wenn durch *k* oder zwischen *k* und *ADG* eine verticale gerade Linie gezogen wird, oder auch, wenn die Reihe *CFI* durch ein weifses Papier verdeckt wird.

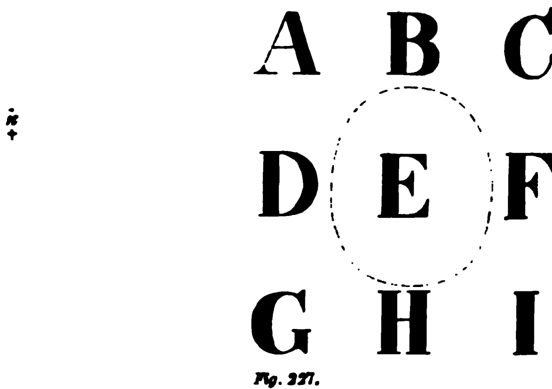


*Fig. 227.*

Eine gerade Linie, deren Mitte in die Lücke fällt, erscheint v. Wittich verkürzt, während E. H. Weber, Volkmann und ich sie unverkürzt sehen. Eine Kreisfläche, die nicht ganz, aber beinahe ganz vom blinden Flecke gedeckt wird, deren Rand man aber ringsum sehen kann, erscheint mir ebenso grofs, wie eine ebenso weit nach der Nasenseite des Fixationspunktes liegende ähnliche Fläche. Uebrigens glaube ich, wie schon Weber und Volkmann fanden, die ganze Fläche in der Farbe des Randes zu sehen, 580
selbst wenn von diesem nur ein schmaler Streif aufserhalb der Lücke liegt. Ja, wenn die Kreisscheibe von engbedrucktem Papier geschnitten ist, so glaube ich sie in ganzer Ausdehnung mit Buchstaben bedeckt zu sehen, bis ich die Aufmerksamkeit genau auf sie richte, wo ich dann erkenne, dafs ich in ihrer Mitte nichts unterscheide.

Funcke berichtet, dafs wenn die Lücke auf bedrucktes Papier fällt und er sich diesseits und jenseits derselben zwei hervorstechende Buchstaben gemerkt hat, diese einander genähert erscheinen. Auch in diesem Falle sehe ich die Buchstaben in ihrer richtigen Distanz.

Diese Widersprüche lassen sich wohl daraus erklären, dafs wir als Ergänzung für die Beurtheilung der räumlichen Dimensionen des Sehfeldes, welche hauptsächlich durch die Bewegungen des Auges erlernt ist, auch noch die Weberschen Empfindungskreise berücksichtigen, namentlich für kleine, einander nahe Objecte, für welche die erstere Art der Beurtheilung vielleicht unvollkommenere Data giebt. Ob zwei seitlich liegende schwarze

[1] Funcke, *Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br.* Bd. III. Heft 3, S. 12 u. 13.

Punkte, die auf verschiedenen Seiten des Fixationspunktes sich befinden, von ihm gleich weit abstehen oder nicht, können wir nicht mit derselben Genauigkeit entscheiden, als wenn beide auf derselben Seite und nahe aneinander liegen und zwischen ihnen noch ein weifser Fleck des Grundes sichtbar ist, dann ist es nicht zweifelhaft, welcher dem Fixationspunkt näher ist, welcher ferner.

Nun stimmen in den übrigen Theilen des Sehfeldes beiderlei Bestimmungsweisen nothwendig überein; in der Gegend des blinden Flecks dagegen fehlen die Eindrücke, welche wir zwischen denen des Randes der Lücke erwarten sollten und welche das sinnliche Zeichen ihrer räumlichen Trennung sein sollten. Andererseits können wir mittels der Bewegungen des Auges doch richtige Erfahrungen über die wirkliche Lage der Randpunkte der Lücke machen und sie als getrennt erkennen. Daher ist es möglich, dafs verschiedene Beobachter, die bald mehr auf dieses, bald mehr auf jenes Moment zu achten gewohnt sind, verschieden urtheilen, und dafs selbst bei einem und demselben Beobachter nebensächliche Verhältnisse für das eine oder andere den Ausschlag geben.

Ich habe früher bemerkt, dafs im Allgemeinen die Lücke eines jeden Auges beim gewöhnlichen zweiäugigen Sehen ausgefüllt wird durch das, was das andere Auge an jener Stelle des Sehfeldes wahrnimmt. Diese Regel erleidet aber, wie VOLKMANN gezeigt hat, ebenfalls Ausnahmen. Bezeichnen wir den blinden Fleck des einen Auges mit $a$, die entsprechende Stelle des andern Auges mit $\alpha$, die Umgebung von $a$ mit $b$, die von $\alpha$ mit $\beta$, die den beiden Stellen $a$ und $\alpha$ entsprechende Stelle im Gesichtsfelde mit $A$, ihre Umgebung mit $B$, so lassen sich leicht folgende Versuche machen:

1. Wir sehen mit dem ersten Auge auf weifses Papier und schliefsen das andere Auge, so empfinden wir

   auf $a$: Nichts, auf $b$: Weifs
   auf $\alpha$: Dunkel, auf $\beta$: Dunkel

   und meinen zu sehen

   auf $A$: Weifs, auf $B$: Weifs.

581 2. Wir sehen mit beiden Augen auf weifses Papier, halten aber vor das zweite ein blaues Glas; wir empfinden also

   auf $a$: Nichts, auf $b$: Weifs
   auf $\alpha$: Blau, auf $\beta$: Blau

   und meinen zu sehen

   auf $A$: Blauweifs, auf $B$: Blauweifs.

3. Aehnlich fällt der Versuch aus, wenn wir mit beiden Augen durch verschiedenfarbige Gläser sehen, wobei ein ungleichförmiges und wechselndes Gemisch beider Farben im Sehfelde erscheint; auch dann zeichnet sich $A$ von dem Rest des Feldes in keiner Weise aus.

In den bisherigen Fällen, wo die Stelle $\alpha$ ebenso beleuchtet war, wie $\beta$, ıbten wir die Lücke in der Farbe des Grundes zu sehen, wobei dann das rbare Resultat eintritt, dafs die Stelle $A$ des Sehfeldes, die in dem

einen Auge gar keine Empfindung, im andern die von Schwarz oder Blau hervorruft, uns weifs oder blauweifs erscheint.

4. Nun blicken wir nach einem schwarzen Blatte, auf dem ein weifser Kreis liegt, der der Lücke *a* entspricht. Wir empfinden

 auf *a*: Nichts, auf *b*: Schwarz
 auf *α*: Weifs, auf *β*: Schwarz.

 Wir sehen

 auf *A*: Weifs, auf *B*: Schwarz.

 Halten wir vor das zweite Auge ein blaues Glas, so tritt hierbei statt Weifs natürlich überall Blau ein.

5. Wir blicken nach einem weifsen Felde, auf dem sich ein schwarzer Fleck, der Lücke *a* entsprechend, befindet. Wir empfinden

 auf *a*: Nichts, auf *b*: Weifs
 auf *α*: Schwarz, auf *β*: Weifs

 und sehen

 auf *A*: Schwarz, auf *B*: Weifs.

6. Nachdem wir die Fixation des vorigen Versuchs eine Weile unverändert unterhalten haben, blicken wir auf einen andern Punkt der weifsen Fläche, dann erscheint ein helleres weifses Nachbild des schwarzen Flecks, welches ebenfalls dem Orte der Lücke entspricht. Also auch der schwache Unterschied zwischen dem etwas helleren Weifs des Nachbildes und dem etwas matteren des Grundes genügt, den Gesichtseindruck der Lücke zu bestimmen. Dadurch können nun auch scheinbare Widersprüche mit Versuch 3 eintreten.

7. Die Bedingungen des vorigen Versuchs werden dahin abgeändert, dafs ich vor das Auge *ab* ein grünes Glas, vor *αβ* ein rothes setze und erst so fixire, dafs der schwarze Fleck der Lücke *a* entspricht, dann sehe ich den Fleck schwarzgrün, fast als ob ich ihn durch das grüne Glas mit der Lücke *a* sähe. In Wahrheit aber ist das eine Contrastfarbe im andern Auge auf *α* gegen den rothen Grund *β*. Wenn ich eine kleine Weile fixirt habe und dann eine andere Stelle des Papiers fixire, so sehe ich die Stelle *A* des Gesichtsfeldes rein roth, scheinbar mit dem Auge *αβ* allein. Aber in diesem Falle ist es hier das hellere 583 rothe Nachbild des vorhergesehenen Schwarz, wodurch sich *α* vor *β* auszeichnet und daher den Eindruck bestimmt.

Aus diesen letzteren Versuchen scheint also hervorzugehen, dafs der Eindruck auf *α* das Gesammtbild wenigstens dann bestimmt, wenn *α* von *β* durch Helligkeit und Farbe deutlich unterschieden ist. Doch ist auch in solchen Fällen *α* nicht allein bestimmend.

8. Ich blicke nach einem hellgrauen Papier, auf dem eine weifse Oblate liegt, der Lücke *a* entsprechend; vor das geschlossene Auge *αβ* bringe ich ein rothes Glas und öffne es dann. Nun habe ich in der Empfindung

 auf *a*: Nichts, auf *b*: Grau
 auf *α*: Roth, auf *β*: Mattes Roth.

Ich meine zu sehen:

auf $A$: Rothweifs     auf $B$: Grauroth.

Das Roth auf $\alpha$, wenn das Auge $ab$ geschlossen ist, ist entschieden gesättigter, als es in $A$ ist, wenn $ab$ geöffnet ist, trotzdem $a$ keinen Eindruck empfängt. Das Entsprechende sieht man auch bei Anwendung andersfarbiger Gläser. Der Unterschied wurde noch deutlicher, wenn ich nahe neben die weifse Oblate eine rothe legte, die durch das rothe Glas gesehen ebenso aussah, wie die weifse. Die rothe Oblate mufs aber, bis das Auge hinter dem rothen Glase geöffnet wird, verdeckt werden durch einen dem Grunde gleichfarbigen Schirm, damit sie kein Nachbild entwickelt, welches ihr Roth abschwächt und grau macht, wenn es zur Vergleichung kommt.

In diesem letzteren Falle ist es unverkennbar der Einflufs des grauen Grundes in $b$, der uns $a$ weifslich sehen läfst. Es lassen sich alle diese Erscheinungen auf das Gesetz zurückführen, dafs wir mit beiden Augen die der Lücke entsprechende Stelle $A$ des Sehfeldes um so viel heller oder dunkler als den Grund $B$ zu sehen glauben, wie wir in dem anderen Auge ($\alpha$ und $\beta$) sie wirklich heller oder dunkler sehen. Die gemeinsame Färbung des Sehfeldes $\alpha$ und $\beta$ wird nicht übergetragen auf die Lücke des andern Auges, wohl aber die Differenz zwischen $\alpha$ und $\beta$ auch als für $a$ und $b$ bestehend angeschaut. Aehnliche Verhältnisse werden wir unten in der Lehre vom binocularen Contraste wiederfinden.

Einigen Anstofs haben diejenigen subjektiven Erscheinungen erregt, welche gerade an der Eintrittsstelle des Sehnerven auftreten, wie die Lichtgarben bei schneller Bewegung des Auges und die hellen oder dunklen Kreisflächen bei elektrischer Durchströmung. Zu erklären sind sie nur, wenn man annimmt, dafs dabei die den Sehnerven unmittelbar umgebenden Netzhauttheile betroffen sind. Bei der elektrischen Durchströmung erklärt sich dies auch wohl einfach dadurch, dafs die hinter der Sclerotica liegende schlecht leitende, sehnige Masse des Sehnerven die elektrische Durchströmung der unmittelbar davor liegenden Netzhauttheile erschwert und diese deshalb gegen das übrige Gesichtsfeld contrastiren. Aufsteigender Strom, der das Gesichtsfeld licht macht, läfst den schlecht leitenden Sehnerveneintritt dunkel erscheinen, absteigender, der das Feld dunkel und röthlichgelb macht, dagegen licht und blau.

583 Für die leuchtenden Garben bei schneller Bewegung des Auges kann man den Beweis für die Richtigkeit dieser Erklärung nicht führen, wohl aber für die entsprechenden dunklen Flecke, welche man sieht, wenn man die Augen stark seitwärts und gegen ein gleichmäfsig erleuchtetes Feld wendet. Hat man die Augen nach links gewendet, so sieht man mit dem rechten Auge einen dunklen Fleck nach rechts hin im Gesichtsfelde, dessen rechter Rand sehr gut begrenzt ist, der linke, gegen die Mitte des Gesichtsfeldes gekehrte dagegen sehr unbestimmt. Hier ist auch die Lücke des Gesichts-

feldes; denn wenn man eine Bleistiftspitze vor dieses innere Ende des dunklen Flecks schiebt, verschwindet sie; nicht aber in dem übrigen Theile des dunklen Flecks.

Dagegen sieht man vor dem nach links gewendeten linken Auge den dunklen Fleck zwischen dem Fixationspunkte dieses Auges und dem blinden Flecke liegen. Bei nach links gewendeten Augen wird also die Netzhaut in beiden Augen an der linken Seite des Sehnerven (im Gesichtsfelde ist der dunkle Fleck nach rechts gewendet) unempfindlicher gemacht. Dies ist die Seite, wo der Nervenstamm gegen die Sclerotica hingebogen wird, diese wahrscheinlich etwas einbiegt und so die Netzhaut verzerrt. Für diese dunklen Flecke läfst sich also erweisen, dafs sie nicht der eigentlichen Eintrittsstelle des Sehnerven entsprechen, sondern daneben liegen. Die lichten Erscheinungen im dunklen Felde werden hier wohl, ebenso wie bei den Druckbildern, dieselbe Stelle einnehmen; auch meine ich bei darauf besonders gerichteter Aufmerksamkeit erkannt zu haben, dafs die Spitze der einen Garbe bis zum Fixationspunkte hinreicht, wie der eine dunkle Fleck. Hiernach sind die oben S. 239 gemachten Angaben über den Ort dieser Flecke zu verbessern.

Wenn man nach zwei ungleich weit entfernten Punkten des Gesichtsfeldes hinsieht, für welche das Auge also auch nicht gleichzeitig vollkommen accommodirt sein kann, so sieht man wenigstens den einen derselben als Zerstreuungsbild. Der Strahlenkegel, welcher dieses Zerstreuungsbild bildet, wird abgegrenzt durch die Oeffnung der Pupille, und es liegt derjenige Strahl in der Axe dieses Strahlenkegels, welcher durch den Mittelpunkt der Pupille gegangen ist. Wenn also auf denselben Netzhautpunkt $a$ die Mittelpunkte zweier Zerstreuungskreise ungleich weit entfernter Punkte zusammenfallen, oder ein punktförmiges Bild mit der Mitte des Zerstreuungsbildes des zweiten Punktes, so müssen diejenigen beiden Strahlen beider Objectpunkte, welche durch den Mittelpunkt der Pupille gegangen sind, ganz zusammenfallen, oder derjenige Strahl, welcher durch beide Objectpunkte geht, mufs nachher durch den Mittelpunkte der Pupille gehen.

Der Mittelpunkt der Pupille befindet sich nun im Innern des optischen Systems des Auges, vor ihm liegt die Hornhaut, hinter ihm die Krystallinse. Die Strahlen erleiden also eine Brechung, ehe sie zu diesem Punkte gelangen, und werden auch noch wieder von ihrem Wege abgelenkt, nachdem sie ihn verlassen haben.

Strahlen, welche von dem wirklichen Mittelpunkte der Pupille ausgehen, werden in der Hornhaut so gebrochen, dafs sie nachher von dem Bilde des Mittelpunkts der Pupille, welches die Hornhaut entwirft, auszugehen scheinen werden. Umgekehrt Strahlen, welche aufserhalb des Auges gegen das Bild des Mittelpunkts der Pupille convergiren, werden durch den Mittelpunkt der Pupille selbst hindurchgehen.

Das Bild, welches bei der Brechung der Strahlen in der Hornhaut vom Mittelpunkte der Pupille entworfen wird, ist also derjenige Punkt, welchen wir den Kreuzungspunkt der Visirlinien genannt haben. Wenn zwei leuchtende 584
Punkte vor dem Auge in einer durch diesen Punkt gehenden geraden Linie liegen, so fallen die Mittelpunkte ihrer Zerstreuungskreise auf der Netzhaut zusammen.

Für das schematische Auge, welches auf S. 140 berechnet ist, habe ich auch den Abstand des Kreuzungspunktes der Visirlinien von der Hornhaut in Millimetern berechnet:

| | Fernsehend | Nahesehend |
|---|---|---|
| 1. Abstand des Mittelpunkts der Pupille | 3,6 Millim. | 3,2 Millim. |
| 2. Abstand des Kreuzungspunktes der Visirlinien von der Hornhaut | 3,036 " | 2,661 " |
| 3. Abstand des Kreuzungspunktes von dem Mittelpunkte der Pupille | 0,564 " | 0,539 " |

In anderer Weise bestimmt sich der Scheitelpunkt der Gesichtswinkel, wenn die Accommodation des Auges fortdauernd den beobachteten Objecten angepafst wird, weil nämlich bei der veränderten Accommodation des Auges die Knotenpunkte selbst sich verrücken. Wir finden diesen Scheitelpunkt unter diesen Bedingungen in folgender Weise am einfachsten.

Setzen wir voraus, es sei der Punkt $A$, *Fig. 228*, der gesuchte Scheitelpunkt der Gesichtswinkel $DA$ und $CA$ zwei durch ihn gezogene gerade Linien, welche gleiche Winkel mit der optischen Axe $EA$ machen, und mit ihr in einer Ebene liegen. Es wird verlangt, dafs Objecte wie die beiden Pfeile, wenn ihre Endpunkte in den Linien $DA$ und $CA$ liegen, gleich grofse Netzhautbilder $FG$ geben, wenn das Auge für die Endpunkte der betreffenden Objecte richtig accommodirt ist. Nun sei $B_0$ das Bild von $A$ im fernsehenden Auge, $B_1$ dasselbe im nahesehenden Auge. Wenn wir die Linien $DA$ und $CA$ als Strahlen betrachten, so werden diese so gebrochen werden, dafs sie im Glaskörper von $B_0$ oder $B_1$ aus divergiren, um beziehlich nach $F$ und $G$ zu gehen.

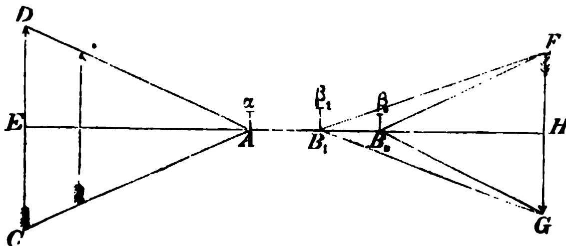



Fig. 228.

Nun denke man sich im Punkte $A$ ein kleines, zur Axe senkrechtes Object $\alpha$, und in $B_0$, beziehlich $B_1$ dessen optische Bilder $\beta_0$, beziehlich $\beta_1$, so findet nach S. 71, Gleichung 7 d), folgende Beziehung zwischen den Winkeln $DAC$, $FB_0G$, $FB_1G$ und diesen Bildern statt

$$n_1 \cdot \alpha \cdot \operatorname{tang} \frac{DAC}{2} = n_2 \cdot \beta_0 \cdot \operatorname{tang} \frac{FB_0G}{2}$$

$$= n_2 \cdot \beta_1 \cdot \operatorname{tang} \frac{FB_1G}{2},$$

wo $n_1$ und $n_2$ die Brechungsverhältnisse von Luft- und Glaskörper sind. Da nun

$$\operatorname{tang} \frac{FB_0G}{2} = \frac{FH}{HB_0}$$

$$\operatorname{tang} \frac{FB_1G}{2} = \frac{FH}{HB_1},$$

585 so folgt

$$\beta_0 : \beta_1 = HB_0 : HB_1.$$

Der gesuchte Scheitelpunkt der Gesichtswinkel ist also durch die Eigenschaft rakterisirt, dafs wenn in ihm ein kleines, zur Axe senkrechtes (virtuelles) Object gt, dessen Bild bei den Veränderungen der Accommodation seinem Abstande von · Netzhaut proportional wächst.

Wenn man für die mittleren Werthe der optischen Constanten des fernsehenden l nahesehenden Auges, welche auf S. 140 gegeben sind, die Lage dieses nktes berechnet, so findet man seinen Abstand gleich 2,942 Millimeter von der rnhaut, so dafs er fast genau zusammenfällt mit dem vorher berechneten euzungspunkt der Visirlinien des fernsehenden Auges, dessen Abstand gleich 136 Mm. von der Hornhaut gefunden war. Bei den praktischen Anwendungen nnen wir daher beide Punkte als zusammenfallend betrachten, besonders da so ine Unterschiede, wie der hier gefundene, bei dem bisher erreichbaren Grade · Genauigkeit unserer Kenntnifs der optischen Constanten des Auges nicht zu bürgen sind.

Für die Gröfse der Gesichtswinkel des unbewegten Auges würde es danach nen Unterschied machen, ob wir seine Accommodation den zu beobachtenden nkten anpassen oder das Auge für unendliche Ferne einrichten.

J. B. Listing[1] hat den Unterschied des Winkels, den zwei von zwei Objectnkten nach dem Knotenpunkte des Auges gezogene Linien bilden, von demigen, welchen die von denselben Objectpunkten nach dem Drehpunkte des ges gezogenen Linien bilden, die Parallaxe zwischen der scheinbaren ge der Objecte bei directem und indirectem Sehen genannt. Ich rde es vorziehen, diesen Namen so anzuwenden, dafs als Spitze des ersten nkels der Kreuzungspunkt der Visirlinien[2] gebraucht würde, weil zwei punktmige Objecte im indirecten Sehen gleiche Lagen haben, wenn sie in derselben irlinie liegen.

Diese Parallaxe ist gleich Null, wenn die Objecte unendlich entfernt sind; l für unendlich weit entfernte Objecte die Schenkel der beiden zu vergleichenden nkel einander paarweise parallel werden. Ist nun das eine Object unendlich fernt, so bezeichnet die genannte Parallaxe, um wie viel sich scheinbar das iere Object vor einem unendlich entfernten Hintergrunde verschiebt, wenn man ı Blick auf dasselbe hinrichtet.

Um für diesen verhältnifsmäfsig einfachsten Fall die Gröfse der genannten rallaxe vergleichen zu können mit den Ungenauigkeiten der Accommodation, sei *Fig. 229* $o$ der Drehpunkt des Auges, $oc = oe = \sigma$ die Entfernung des euzungspunktes der Visiren. In der Richtung $oa$ ;e das fernere Object, $b$ sei nähere, so wird $b$, wenn direct fixirt wird, in der htung $bg$ erscheinen und die dieser Richtung liegenden eile des unendlich entfernten itergrundes decken. Wenn ir in der Richtung $oa$ fixirt d, wird der Kreuzungspunkt

Fig. 229.

[1] J. B. Listing, *Beitrag zur physiologischen Optik.* Göttingen 1845. S. 14—16.

[2] Bei Listing sind Visirlinien die vom Objecte nach dem Drehpunkt des Auges gezogenen Linien.

| | Fernsehend | Nahesehend |
|---|---|---|
| 1. Abstand des Mittelpunkts der Pupille | 3,6 Millim. | 3,2 Millim. |
| 2. Abstand des Kreuzungspunktes der Visirlinien von der Hornhaut | 3,036 „ | 2,661 „ |
| 3. Abstand des Kreuzungspunktes von dem Mittelpunkte der Pupille | 0,564 „ | 0,539 „ |

In anderer Weise bestimmt sich der Scheitelpunkt der Gesichtswinkel, wenn die Accommodation des Auges fortdauernd den beobachteten Objecten angepafst wird, weil nämlich bei der veränderten Accommodation des Auges die Knotenpunkte selbst sich verrücken. Wir finden diesen Scheitelpunkt unter diesen Bedingungen in folgender Weise am einfachsten.

Setzen wir voraus, es sei der Punkt $A$, *Fig. 228*, der gesuchte Scheitelpunkt der Gesichtswinkel $DA$ und $CA$ zwei durch ihn gezogene gerade Linien, welche gleiche Winkel mit der optischen Axe $EA$ machen, und mit ihr in einer Ebene liegen. Es wird verlangt, dafs Objecte wie die beiden Pfeile, wenn ihre Endpunkte in den Linien $DA$ und $CA$ liegen, gleich grofse Netzhautbilder $FG$ geben, wenn das Auge für die Endpunkte der betreffenden Objecte richtig accommodirt ist. Nun sei $B_0$ das Bild von $A$ im fernsehenden Auge, $B_1$ dasselbe im nahesehenden Auge. Wenn wir die Linien $DA$ und $CA$ als Strahlen betrachten, so werden diese so gebrochen werden, dafs sie im Glaskörper von $B_0$ oder $B_1$ aus divergiren, um beziehlich nach $F$ und $G$ zu gehen.

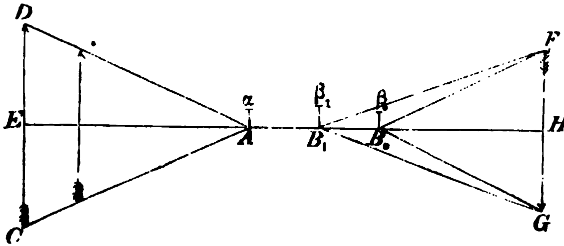



Fig. 228.

Nun denke man sich im Punkte $A$ ein kleines, zur Axe senkrechtes Object $\alpha$, und in $B_0$, beziehlich $B_1$ dessen optische Bilder $\beta_0$, beziehlich $\beta_1$, so findet nach S. 71, Gleichung 7d), folgende Beziehung zwischen den Winkeln $DAC$, $FB_0G$, $FB_1G$ und diesen Bildern statt

$$n_1 \cdot \alpha \cdot \operatorname{tang} \frac{DAC}{2} = n_2 \cdot \beta_0 \cdot \operatorname{tang} \frac{FB_0G}{2}$$

$$= n_2 \cdot \beta_1 \cdot \operatorname{tang} \frac{FB_1G}{2},$$

wo $n_1$ und $n_2$ die Brechungsverhältnisse von Luft- und Glaskörper sind. Da nun

$$\operatorname{tang} \frac{FB_0G}{2} = \frac{FH}{HB_0}$$

$$\operatorname{tang} \frac{FB_1G}{2} = \frac{FH}{HB_1},$$

585 so folgt

$$\beta_0 : \beta_1 = HB_0 : HB_1.$$

Der gesuchte Scheitelpunkt der Gesichtswinkel ist also durch die Eigenschaft rakterisirt, dafs wenn in ihm ein kleines, zur Axe senkrechtes (virtuelles) Object t, dessen Bild bei den Veränderungen der Accommodation seinem Abstande von Netzhaut proportional wächst.

Wenn man für die mittleren Werthe der optischen Constanten des fernsehenden l nahesehenden Auges, welche auf S. 140 gegeben sind, die Lage dieses ıktes berechnet, so findet man seinen Abstand gleich 2,942 Millimeter von der rnhaut, so dafs er fast genau zusammenfällt mit dem vorher berechneten uzungspunkt der Visirlinien des fernsehenden Auges, dessen Abstand gleich 36 Mm. von der Hornhaut gefunden war. Bei den praktischen Anwendungen ınen wir daher beide Punkte als zusammenfallend betrachten, besonders da so ine Unterschiede, wie der hier gefundene, bei dem bisher erreichbaren Grade Genauigkeit unserer Kenntnifs der optischen Constanten des Auges nicht zu bürgen sind.

Für die Gröfse der Gesichtswinkel des unbewegten Auges würde es danach nen Unterschied machen, ob wir seine Accommodation den zu beobachtenden ıkten anpassen oder das Auge für unendliche Ferne einrichten.

J. B. Listing[1] hat den Unterschied des Winkels, den zwei von zwei Objectıkten nach dem Knotenpunkte des Auges gezogene Linien bilden, von demıgen, welchen die von denselben Objectpunkten nach dem Drehpunkte des ges gezogenen Linien bilden, die Parallaxe zwischen der scheinbaren ge der Objecte bei directem und indirectem Sehen genannt. Ich de es vorziehen, diesen Namen so anzuwenden, dafs als Spitze des ersten ıkels der Kreuzungspunkt der Visirlinien[2] gebraucht würde, weil zwei punktnige Objecte im indirecten Sehen gleiche Lagen haben, wenn sie in derselben irlinie liegen.

Diese Parallaxe ist gleich Null, wenn die Objecte unendlich entfernt sind: l für unendlich weit entfernte Objecte die Schenkel der beiden zu vergleichenden ıkel einander paarweise parallel werden. Ist nun das eine Object unendlich fernt, so bezeichnet die genannte Parallaxe, um wie viel sich scheinbar das ere Object vor einem unendlich entfernten Hintergrunde verschiebt, wenn man Blick auf dasselbe hinrichtet.

Um für diesen verhältnifsmäfsig einfachsten Fall die Gröfse der genannten allaxe vergleichen zu können mit den Ungenauigkeiten der Accommodation, sei *Fig. 229* $o$ der Drehpunkt des Auges, $oc = oe = \sigma$ die Entfernung des uzungspunktes der Visiren. In der Richtung $oa$ e das fernere Object, $b$ sei nähere, so wird $b$, wenn direct fixirt wird, in der htung $bg$ erscheinen und die dieser Richtung liegenden ile des unendlich entfernten tergrundes decken. Wenn r in der Richtung $oa$ fixirt d, wird der Kreuzungspunkt

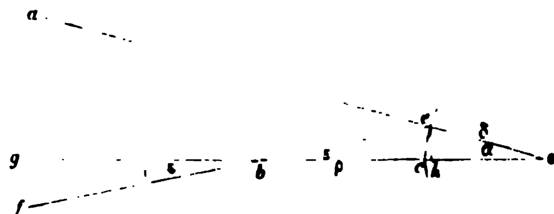


Fig. 229

[1] J. B. Listing, *Beitrag zur physiologischen Optik.* Göttingen 1845. S. 14—16.
[2] Bei Listing sind Visirlinien die vom Objecte nach dem Drehpunkt des Auges gezogenen Linien.

der Visirlinien in $e$ liegen und $b$ in der Richtung $ef$ erscheinen. Der Winkel
586 $ebc = fbg = \varepsilon$ ist also die Parallaxe zwischen directem und indirectem Sehen. Bezeichnen wir den Abstand des Punktes $b$ vom Punkte $c$ mit $\varrho$, so ist

$$\operatorname{tang} \varepsilon = \frac{eh}{hb} = \frac{\sigma \sin \alpha}{\varrho + \sigma (1 - \cos \alpha)}.$$

Der Durchmesser $p$ des Zerstreuungskreises von $b$ in einem für unendliche Ferne accommodirten Auge ist nach S. 126, Gleichung 1 b), wenn $P$ der Durchmesser der durch die Krystalllinse gesehenen Pupille und $H$ der Abstand des vorderen Brennpunktes vom Kreuzungspunkte der Visirlinien ist

$$p = \frac{P \cdot H}{\varrho}$$

und wenn $\eta$ der Winkel ist, unter dem der Radius des Zerstreuungskreises auf den unendlich entfernten Hintergrund entworfen erscheint, $f$ aber der Abstand des Knotenpunktes der Hornhaut vom hintern Brennpunkte, so ist

$$\operatorname{tang} \eta = \frac{p}{2f} = \frac{P \cdot H}{2\varrho \cdot f}$$

und wenn wir in dem Werthe von tang $\varepsilon$ die Gröfse $\sigma$ (10,5 Millimeter) gegen $\varrho$ (die Entfernung des Objectes) vernachläfsigen, so ist

$$\operatorname{tang} \varepsilon = \frac{\sigma \sin \alpha}{\varrho}$$

und daher $\eta > \varepsilon$, so lange

$$\frac{PH}{2\sigma f} > \sin \alpha.$$

Es ist aber für das fernsehende Auge

$$\begin{aligned} H &= 15{,}869 \text{ Millimeter,} \\ f &= 15{,}007 \quad \text{„} \\ \sigma &= 10{,}521 \quad \text{„} \end{aligned}$$

$P$ kann schwanken zwischen etwa 3 und 6 Millimeter; dem ersteren Werthe entspricht

$$\alpha < 8^0{,}40, \text{ dem zweiten } \alpha < 17^0{,}33.$$

So lange die Bewegung des Auges nicht gröfser ist, als diese Werthe des Winkels $\alpha$, so lange ist die Verschiebung beim Uebergang vom indirecten zum directen Sehen nicht gröfser als der Radius des Zerstreuungskreises, unter dem der nähere Punkt erscheint.

Wenn man dabei berücksichtigt, wie aufserordentlich undeutlich das indirecte Sehen in 8° Entfernung vom Blickpunkte ist, so wird dadurch begreiflich, dafs wir nur ausnahmsweise, wenn irgend ein sehr heller Punkt hinter dem Rande eines dunklen Schirms auftaucht, die Veränderung des Bildes, welche von den Bewegungen des Auges abhängt, bemerken.

Ich lasse hier noch zwei wichtige Actenstücke für die Lehre von dem
'erständnifs der Gesichtserscheinungen folgen, welche die Beobachtungen von
:HESELDEN und WARDROP an zwei Blindgeborenen berichten, denen erst in
päterem Alter das Gesicht durch eine Operation wiedergegeben wurde. CHESELDEN
perirte einen Knaben von 13 Jahren, welcher mit sehr stark getrübten Krystall-
insen (grauem Staar) geboren war.

CHESELDEN[1] berichtet Folgendes über seine Fähigkeit, Formen zu unter- 587
cheiden: „Anfangs, nachdem er sein Gesicht bekommen hatte, wufste er so wenig
ber Entfernungen zu urtheilen, dafs er sich vielmehr einbildete, alle Sachen, die
r sähe, berührten seine Augen, wie das, was er fühlte, seine Haut. Keine Sachen
:aren ihm so angenehm, als glatte und regelmäfsige (vielleicht wegen des ein-
ıcheren und leichter zu analysirenden Gesichtseindrucks, oder wegen des Glanzes?),
b er wohl von ihrer Gestalt nicht urtheilen oder errathen konnte, was ihm an
iner Sache gefiele. Er machte sich keinen Begriff von der Gestalt irgend einer
ache, unterschied auch keine Sache von der anderen, so verschieden sie auch an
iestalt und Gröfse waren; wenn man ihm aber sagte, was das für Dinge wären,
ie er zuvor durchs Gefühl erkannt hatte, so betrachtete er sie sehr aufmerksam,
m sie wieder zu kennen; weil er aber auf einmal zu viel Sachen zu lernen hatte,
ergafs er immer wieder viel davon und lernte, wie er sagte, in einem Tage tausend
inge kennen und vergafs sie wieder. Zum Exempel, er hatte oft vergessen,
elches die Katze und welches der Hund war, und schämte sich darum weiter zu
agen; fing also die Katze, die er durch das Gefühl kannte, betrachtete sie sehr
enau, setzte sie nieder und sagte: „So, Miezchen, nun will ich dich ein andermal
ennen". — Man glaubte, er würde bald verstehen lernen, was Gemälde vorstellten,
, zeigte sich aber das Gegentheil. Denn zwei Monate, nachdem ihm der Staar
stochen war, machte er plötzlich die Entdeckung, dafs sie Körper mit Erhöhungen
nd Vertiefungen darstellten; bis dahin hatte er sie nur als buntscheckige
lächen angesehen. Dabei aber erstaunte er nicht wenig, dafs sich die Gemälde
cht so anfühlen liefsen, wie die Dinge, welche sie vorstellten, und dafs die
heile, welche durch ihr Licht und Schatten rund und uneben aussahen, flach, wie
e übrigen, anzufühlen waren. Er fragte, welcher von seinen Sinnen ihn betröge,
ıs Gefühl oder das Gesicht. Als man ihm seines Vaters Bild in einem Angehänge
ı seiner Mutter Uhr zeigte und ihm sagte, was es wäre, erkannte er es für
ınlich, wunderte sich aber sehr, dafs ein grofses Gesicht sich in einem so kleinen
aume vorstellen liefs, welches ihm, wie er sagte, so unmöglich würde geschienen
ıben, als einen Scheffel in eine Metze zu bringen.

„Anfangs konnte er wenig Licht vertragen und hielt alles, was er sah, für
ıgemein grofs; als er aber gröfsere Sachen sah, hielt er jene für kleiner, weil
· sich gar keine Linien aufserhalb des Umfangs, den er sah, vorstellen konnte.
ıafs das Zimmer, worin er wäre, ein Theil des Hauses sei, sagte er, wüfste er
'ohl, könnte aber nicht begreifen, wie das ganze Haus gröfser als das Zimmer
ussehen könnte.

„Ein Jahr, nachdem er sein Gesicht wiedererhalten hatte, brachte man ihn
uf die Dünen von Epsom, wo er eine weite Aussicht hatte; diese ergötzte ihn
ar sehr und war ihm, wie er sagte, eine neue Art von Sehen.

„Als ihm der Staar an dem andern Auge gestochen ward, kamen ihm, wie

[1] CHESELDEN, *Phil. Transact.* 1728, XXXV, p. 447; *Smith Opticks Remarks*, p. 27.

er sagte, die Sachen mit diesem Auge größer vor, doch nicht so groß, als sie ihm anfangs mit dem ersten erschienen waren. Wenn er einerlei Sache mit beiden Augen ansah, so kam sie ihm noch einmal so groß vor, als mit dem zuerst erhaltenen allein; aber doppelt sah er nichts, soviel man entdecken konnte."

Hierbei ist zu bemerken, daſs auch bei einer noch so undurchsichtigen Linse der Blinde immer im Stande war zu lernen, wie er die Augen bewegen muſste, um von der Sonne den hellsten Eindruck zu empfangen, d. h. nach der Sonne hinzusehen. Also in der Beurtheilung der Richtung der Objecte aus der Richtung des Blicks nach ihnen hin konnte er nicht als ganz ungeübt betrachtet werden.
588 Ja, es ist selbst unwahrscheinlich, daſs die Linse jemals das Licht so vollständig gleichmäſsig nach allen Richtungen hin verstreue, daſs nicht doch am Ende die Theile der Netzhaut, welche dem Orte, wo der Focus der Strahlen sich bilden sollte, benachbart waren, etwas stärker erleuchtet gewesen wären, als die übrige Fläche der Netzhaut. Dann konnte auch selbst ein gewisser, wenn auch sehr unvollkommener und ungenauer Grad der Localisirung im Sehfelde ausgebildet sein, wie auch J. Ware[1] bei einem ähnlichen Falle bemerkte. Letzterer fand, daſs Kinder mit Cataract nicht nur die Farben gefärbter Gegenstände, die man dem Auge nahe brachte, noch erkennen konnten, sondern sogar einigermaſsen die Entfernung. Ein siebenjähriger Knabe, der von Ware operirt war, war von Anfang an viel geschickter und sicherer als Cheselden's Patient. Es ist sehr interessant, daſs in dem beschriebenen Falle dennoch das Erlernen der Gesichtswahrnehmungen so deutlich hervortritt.

Noch merkwürdiger in mancher Beziehung ist ein von Wardrop[2] mitgetheilter Fall von einer Dame, welche blind, wahrscheinlich mit getrübten Linsen geboren war. Im Alter von sechs Monaten wurde sie in Paris einer Operation unterworfen, nach welcher das rechte Auge ganz zu Grunde ging, im andern die Pupille vollständig verwuchs, so daſs keine Spur derselben mehr zu sehen war, auſser einigen Streifen von gelben Ausschwitzungen, die in unregelmäſsiger Weise über die Mitte der Iris verbreitet waren. Sie war demnach viel blinder, als Staarkranke zu sein pflegen, und konnte wohl kaum mehr vom Licht und seiner Richtung erkennen, als Gesunde hinter den geschlossenen Augenlidern erkennen können. Sie konnte ein sehr helles von einem dunklen Zimmer unterscheiden, ohne indessen die Richtung des Fensters erkennen zu können, durch welches das Licht drang; dagegen bei Sonnenschein und hellem Mondschein erkannte sie die Richtung, wo das Licht herkam.

Am 26. Januar 1826 wurde versucht, die Ausschwitzungen, die die Pupille verschlossen, zu durchschneiden, was nicht gelang. Am 8. Februar darauf wurde ein Schnitt durch die Iris gemacht, der reichlich Licht in das Auge treten lieſs; hinter demselben lag aber noch eine undurchsichtige Masse. Während der mäſsigen Entzündung, welche folgte, war die Patientin gegen Licht sehr empfindlich; man bemerkte, daſs sie oft versuchte ihre Hände zu sehen. Am 17. Februar endlich wurde die Oeffnung in der Iris erweitert und die opaken Massen hinter derselben entfernt, wodurch endlich das Sehen frei wurde. Ich lasse hier das Wesentliche von Wardrop's Bericht folgen:

[1] J. Ware *Case of a young gentleman who recovered his sight, when seven years of age. Phil. Trans.* 1801. XCI. p. 382—396

[2] J. Wardrop *Case of a lady born blind, who received sight at an advanced age by the formation of an artificial pupil. Phil. Trans.* 1826. III. 529—540.

„Nach der Operation kehrte sie in einem Wagen nach Haus zurück, die Augen nur lose mit einem seidenen Tuch verbunden; das erste, was sie bemerkte, war ein Miethwagen, der vorbeikam, wobei sie ausrief: „Was für ein grofses Ding ist da bei uns vorbeigekommen?" Im Lauf des Abends bat sie ihren Bruder, ihr seine Uhr zu zeigen, in Betreff deren sie viel Neugier bewies, und sie blickte nach ihr eine geraume Zeit, indem sie sie nahe an ihr Auge hielt. Man fragte, was sie sähe, und sie antwortete, dafs eine Seite dunkel und die andere hell wäre; sie zeigte auch auf die Ziffer 12 und lächelte. Ihr Bruder fragte, ob sie noch etwas mehr sähe? sie antwortete „Ja" und zeigte auf die Ziffer 6 und auf die Zeiger der Uhr. Dann betrachtete sie die Kette und die Siegel, und bemerkte, dafs eines der Siegel hell sei, was in der That sich so verhielt, da es aus Bergkrystall war. Am andern Tage bat sie Herr WARDROP wieder nach der Uhr zu sehen, was sie verweigerte, indem sie sagte, dafs das Licht ihrem Auge wehe thäte und dafs sie 589
sich äufserst dumm vorkäme, indem sie damit meinte, sie sei zu sehr verwirrt durch die sichtbare Welt, die ihr so zum ersten Male eröffnet war. Am dritten Tage bemerkte sie Thüren an der andern Seite der Strafse und fragte, ob sie roth seien; sie waren in der That von der Farbe des Eichenholzes. Am Abend blickte sie nach ihres Bruders Gesicht und sagte, sie sähe seine Nase; er forderte sie auf, danach zu greifen, was sie that; dann warf er sich ein Taschentuch über das Gesicht und sagte, sie möchte noch einmal hinsehen, worauf sie es scherzend fortzog und fragte: „Was soll das heifsen?"

Am sechsten Tage erklärte sie, dafs sie besser sähe, als an irgend einem der vorigen Tage; „aber ich kann nicht sagen, was ich sehe, ich bin ganz dumm". Sie schien in der That dadurch ganz verwirrt zu sein, dafs sie nicht fähig war, die Wahrnehmungen durch den Tastsinn mit denen durch den Gesichtssinn zu combiniren, und fühlte sich enttäuscht, dafs sie nicht fähig war, sogleich Gegenstände mit dem Auge zu unterscheiden, die sie so leicht durch Betasten unterscheiden konnte.

Am siebenten Tage bemerkte sie die Hauswirthin, bei der sie wohnte, und erklärte, dafs sie schlank sei. Sie fragte, was die Farbe ihres Kleides sei? worauf man antwortete, es sei blau. „So ist auch das Ding auf Eurem Kopfe", bemerkte sie, was richtig war; „und Euer Taschentuch ist von anderer Farbe", was auch richtig war. Sie fügte hinzu: „Ich sehe Euch ziemlich gut, denke ich." Theetassen und Untertassen wurden einer Prüfung unterzogen. „Was ist dies?" fragte ihr Bruder. „Ich weifs es nicht", antwortete sie, „es sieht sehr verqueer aus; aber ich kann im Augenblick sagen, was es ist, wenn ich es anfasse." Sie sah eine Orange über dem Kamin liegen, aber hatte keinen Begriff, was es wäre, bis sie sie berührte. Sie schien nun heiterer zu werden und gröfsere Hoffnungen auf ihren Eintritt in die Welt des Sichtbaren zu hegen; auch meinte sie, dafs sie ihre neu erworbenen Fähigkeiten würde besser gebrauchen können, wenn sie nach Haus zurückkäme, wo ihr Alles genau bekannt war.

Am achten Tage fragte sie ihren Bruder bei Tische, was er sich da gerade nähme; und als ihr gesagt wurde, es sei ein Glas mit Portwein, antwortete sie „Portwein ist dunkel und sieht sehr häfslich aus." Als Kerzen in das Zimmer gebracht wurden, bemerkte sie ihres Bruders Gesicht im Spiegel und auch das einer anwesenden Dame; sie ging auch zum ersten Male ohne Beistand von ihrem Stuhl zu einem Sopha und wieder zurück zu dem Stuhl. Beim Thee fiel ihr das Geschirr auf, sie bemerkte den Glanz des Porzellans und sie fragte: „was die Farbe

längs der Kante sei". Man sagte ihr, es sei Gelb, worauf sie erwiderte: „Die Farbe will ich wieder kennen."

Am neunten Tage kam sie zum Frühstück herab in sehr guter Laune; sie sagte zu ihrem Bruder: „Heut sehe ich Dich sehr gut", kam zu ihm heran und reichte ihm die Hand. Sie bemerkte auch einen Miethzettel an dem Fenster eines Hauses auf der entgegengesetzten Seite der Straße, und ihr Bruder, um sich zu überzeugen, führte sie drei verschiedene Male an das Fenster, und zu seinem Erstaunen und Freude deutete sie jedesmal ganz bestimmt danach hin.

Sie brachte einen großen Theil des eilften Tages damit zu, aus dem Fenster zu sehen, und sprach sehr wenig.

Am zwölften Tage wurde ihr der Rath gegeben auszugehen, worüber sie sehr vergnügt war. Ihr Bruder ging mit ihr, als ihr Führer, und nahm sie mit sich zweimal um die Säulenhallen von Coventgarden herum. Sie schien sehr erstaunt, aber offenbar erfreut zu sein; der klare blaue Himmel zog ihre Aufmerksamkeit zuerst auf sich, und sie sagte: „Das ist das Hübscheste, was ich bisher gesehen
590 habe, und immer gleich hübsch, so oft ich mich danach wende und hinsehe". Sie unterschied den Straßendamm vom Trottoir und trat von dem einen zum andern herüber, wie Jemand, der an den Gebrauch seiner Augen gewöhnt ist. Ihre große Neugier und die Art, wie sie die Menge von Gegenständen rings herum anstarrte und danach zeigte, erregte die Aufmerksamkeit der Vorübergehenden und ihr Bruder brachte sie bald nach Hause, sehr gegen ihren Willen.

Am dreizehnten Tage trug sich nichts Besonderes zu bis zur Theezeit, wo sie bemerkte, daß anderes Theegeschirr aufgesetzt war, welches nicht hübsch sei und einen dunkeln Rand habe, was eine richtige Angabe war. Ihr Bruder forderte sie auf, in den Spiegel zu sehen und ihm zu sagen, ob sie sein Gesicht darin sähe; worauf sie, sichtbar enttäuscht, antwortete: „Ich sehe mein eignes; laß mich gehen".

Am vierzehnten Tage fuhr sie in einem Wagen vier Meilen weit auf der Wandsworth-Straße, bewunderte meistens den Himmel und die Felder, bemerkte die Bäume und auch die Themse, als sie über Vauxhallbrücke kam. Es war heller Sonnenschein und sie sagte, daß etwas sie blende, wenn sie auf das Wasser sähe.

Am fünfzehnten Tage, einem Sonntage, ging sie nach einer Kapelle in einiger Entfernung; sie sah jetzt entschieden deutlicher als früher, aber erschien noch verwirrter als während der Zeit, wo ihr Gesicht weniger vollkommen war. Die Leute, welche auf dem Trottoir vorbeikamen, erschreckten sie; und einmal als ein Herr an ihr vorbeikam, der eine weiße Weste und einen blauen Rock mit gelben Knöpfen hatte, die im Sonnenschein stark erglänzten, schreckte sie so zusammen, daß sie ihren Bruder, der mit ihr ging, von dem Trottoir herabzog. Sie erkannte, daß der Geistliche seine Hände auf der Kanzel bewegte und daß er etwas darin hielt; es war ein weißes Taschentuch.

Am sechszehnten Tage fuhr sie aus, um eine Visite in einem entfernten Theile der Stadt zu machen; das Getreibe in den Straßen schien sie sehr zu unterhalten. Als sie gefragt wurde, wie sie an diesem Tage sähe, antwortete sie: „Ich sehe sehr viel, wenn ich nur sagen könnte, was ich sehe; aber sicherlich, ich bin sehr dumm".

Nichts Besonderes fiel am siebenzehnten Tage vor; und als ihr Bruder sie fragte, wie es ihr ginge, antwortete sie: „Es geht mir gut, und ich sehe immer besser; aber quält mich nicht mit vielen Fragen, bis ich etwas besser gelernt habe,

meine Augen zu gebrauchen. Alles, was ich sagen kann, ist, dafs ich versichert bin durch alles Das, was ich sehe, welch' eine grofse Veränderung mit mir vorgegangen ist; aber ich kann nicht beschreiben, was ich empfinde."

Achtzehn Tage nach der Operation versuchte Herr WARDROP durch einige Proben die Genauigkeit ihrer Begriffe von der Farbe, Gestalt, Form, Lage, Bewegung, Entfernung der äufseren Objecte festzustellen. Da sie nur mit einem Auge sehen konnte, konnte nichts ermittelt werden über das Doppeltsehen mit zwei Augen. Sie erkannte offenbar die Verschiedenheit der Farben, das heifst, sie erhielt und empfand verschiedene Eindrücke von verschiedenen Farben. Als ihr verschiedenfarbige Stücke Papier, $1^1/_2$ Zoll im Quadrat, vorgelegt wurden, unterschied sie sie nicht nur sogleich von einander, sondern gab einigen Farben auch einen entschiedenen Vorzug; Gelb gefiel ihr am besten, und dann Rosaroth. Hierbei mag noch bemerkt werden, dafs wenn sie einen Gegenstand zu prüfen wünschte, es ihr ziemlich schwer wurde, ihr Auge dahin zu richten und seine Lage ausfindig zu machen, indem sie ihre Hand sowohl, wie ihr Auge in verschiedenen Richtungen herum bewegte, wie Jemand mit verbundenen Augen oder im Dunkeln mit seinen Händen umhergreift, um zu fassen, was er wünscht. Sie unterschied auch grofse von kleinen Gegenständen, wenn beide ihr neben einander zum Vergleich vorgehalten wurden. Sie sagte, sie sähe verschiedene Formen an verschiedenen Gegen- 591
ständen, die ihr gezeigt wurden. Man fragte, was sie meinte unter verschiedenen Formen, zum Beispiel langen, runden, viereckigen, und nachdem man sie gebeten hatte, mit ihrem Finger diese Formen auf ihrer anderen Hand zu zeichnen, brachte man vor ihr Auge die betreffenden Formen, wobei sie richtig nach ihnen hinwies. Sie unterschied nicht nur kleine von grofsen Gegenständen, sondern wufste auch, was oben und unten sei. Um dies zu prüfen, wurde eine mit Tinte gezeichnete Figur vor ihr Auge gebracht, deren eines Ende breit, das andere schmal war; sie sah deren Lage, wie sie wirklich war, nicht umgekehrt. Sie konnte auch Bewegungen bemerken; denn als ein Glas Wasser auf den Tisch vor sie gestellt wurde und als sie ihre Hand näherte, schnell fortgezogen wurde in gröfsere Entfernung, sagte sie sogleich: „Sie bewegen es; Sie nehmen es fort".

Sie schien dagegen die gröfste Schwierigkeit zu haben in der Schätzung der Entfernung der Dinge; denn während ein Gegenstand dicht vor ihr Auge gehalten wurde, suchte sie wohl danach mit ausgestreckter Hand weit jenseits seiner wirklichen Lage, während sie bei anderen Gelegenheiten nahe an ihrem Gesicht herumgriff nach einem Dinge, was weit entfernt war.

Sie lernte mit Leichtigkeit die Namen der verschiedenen Farben, und zwei Tage, nachdem ihr die farbigen Papiere gezeigt waren, bemerkte sie beim Eintritt in ein carminrothes Zimmer, dafs es roth sei. Sie bemerkte auch einige Gemälde. die an der rothen Wand des Zimmers hingen, in dem sie safs, wobei sie einige kleine Figuren auf ihnen unterschied, aber nicht wufste, was sie darstellten, und die vergoldeten Rahmen bewunderte.

Dabei mag noch bemerkt werden, dafs sie durch die Uebung ihres Gesichts nur sehr wenig Kenntnifs irgend welcher Formen gewonnen hatte und unfähig war. die Wahrnehmungen des neu gewonnenen Sinnes anzuwenden und zu vergleichen mit dem, was sie durch den Tastsinn zu erkennen gewöhnt war. Als man daher den Versuch machte, ihr einen silbernen Bleistifthalter und einen grofsen Schlüssel in die Hand zu geben, so unterschied sie und erkannte beide ganz genau. Aber wenn sie neben einander auf den Tisch gelegt wurden, sah sie, dafs beide ver-

schieden seien, aber sie konnte nicht sagen, welches der Bleistifthalter sei und welches der Schlüssel.

Nichts weiter kam vor in der Geschichte dieser Dame, was der Erwähnung werth wäre, bis zum fünfundzwanzigsten Tage nach der Operation. An dem Tage fuhr sie in einem Wagen durch Regent's Park, und schien dort mehr als gewöhnlich sich zu unterhalten, und stellte mehr Fragen über die umgebenden Gegenstände, zum Beispiel: „Was ist das?" Es ist ein Soldat, war die Antwort. „Und das, sieh! sieh!" Es waren Kerzen von verschiedenen Farben in einem Ladenfenster. „Was ist das, das da vorbeikam?" Es war ein Herr zu Pferde. „Aber was ist da Rothes auf dem Trottoir?" Es waren ein Paar Damen, die rothe Shawls trugen. Als sie in den Park kam, wurde sie gefragt, was sie vorzugsweise sähe, oder ob sie errathen könnte, was einzelne von den Gegenständen wären. „O ja", antwortete sie, „da ist der Himmel, da ist Gras, dort ist Wasser und zwei weiſse Dinge", welches zwei Schwäne waren. Als sie auf dem Rückweg durch Piccadilly kam, erstaunte sie sehr über die Juwelierläden und ihre Aeuſserungen erregten herzliches Lachen bei ihren Begleitern.

Von da bis zu der Zeit, wo sie London verlieſs, am 31. März, sechs Wochen nach der Operation, fuhr sie fort, fast täglich mehr Kenntniſs der sichtbaren Welt zu gewinnen, aber es blieb noch viel zu lernen übrig. Sie hatte eine ziemlich genaue Kenntniſs der Farben und ihrer verschiedenen Abstufungen und Namen gewonnen; und als sie Herrn Wardrop ihren Abschiedsbesuch machte, trug sie
592 das erste Kleid, was sie sich selbst ausgewählt hatte, helles Purpurroth, was ihr sehr zu gefallen schien, ebenso wie ihr Hut, der mit rothen Bändern geziert war. Sie hatte noch durchaus keine genaue Kenntniſs der Entfernungen oder Formen gewonnen, und bis zu dieser Zeit hin war sie immer noch verwirrt bei jedem (neuen) Gegenstand, auf den sie blickte. Auch war sie noch nicht fähig, ohne beträchtliche Schwierigkeit und zahllose vergebliche Versuche, ihr Auge auf einen Gegenstand zu richten, so daſs, wenn sie versuchte danach hinzublicken, sie ihren Kopf nach verschiedenen Seiten wendete, bis ihr Auge den Gegenstand erfaſste, nach dem sie suchte. Sie hegte indessen noch immer die Hoffnung, die sie kurz nach der Operation geäuſsert hatte, daſs wenn sie nach Hause käme, ihre Kenntniſs der Auſsendinge genauer und verständlicher werden würde, und daſs, wenn sie auf die Sachen blicken könnte, mit denen ihr Tastsinn so lange vertraut gewesen war, die Verwirrung, welche die Mannigfaltigkeit der Gegenstände ihr bis jetzt verursacht hatte, schwinden würde.

So weit Wardrop. Es ist bei diesem Berichte zu bedenken, daſs die Patientin vor der letzten Operation schon mehrere Tage lang sich bemüht hat, bei freilich noch nicht vollständig wiedererlangtem Gesichtsvermögen, ihre Hände zu besehen, und daher wohl gelernt haben konnte, diese im Gesichtsfelde zu kennen und ihren Bewegungen mit dem Blicke zu folgen, wie sie denn auch selbst vorher schon gelernt haben konnte, ihre Augen der Sonne zuzuwenden, also einen gewissen Grad der Richtung des Blicks und die Kenntniſs der ohngefähren Richtung, aus der das ihre Augen erregende Licht herkam, erhalten haben mochte. Die optischen Bilder in ihrem Auge müssen ziemlich gut gewesen sein, da sie die Ziffern und Zeiger einer Taschenuhr, einen Miethszettel an einem gegenüberliegenden Fenster, Wachskerzen, Juwelenschmuck am Schaufenster von der Mitte der Straſse her aus dem Wagen erkennen konnte. Das Erste, was sie als Gegenstände unterscheiden konnte, waren bewegliche Dinge, namentlich menschliche Gestalten und durch Farbe

hervorstechende Objecte, wie die röthlichen Thüren, die Orange, die farbigen Kleider der Frauen. Es ist übrigens auch bei den neugeborenen Kindern auffallend, wie viel früher sie menschliche Gestalten und Gesichter zu erkennen und mit dem Blicke zu verfolgen wissen, als andere Gegenstände. Die menschlichen Gestalten ziehen natürlich vor anderen Dingen das Interesse auf sich und sind durch die Art der Bewegungen, die sie ausführen, von andern Objecten des Gesichtsfeldes wesentlich unterschieden. Bei diesen Bewegungen sind sie auch als zusammenhängendes Ganzes charakterisirt, und das Gesicht, als ein weifsröthlicher Fleck mit den beiden glänzenden Augen ist immerhin eine Stelle dieses Bildes, welche leicht wiederzuerkennen sein wird, auch für Jemanden, der sie erst wenige Male gesehen hat.

Was die Unterscheidung der Formen betrifft, auf die es uns hier hauptsächlich ankommen würde, so ist zunächst klar, dafs in einem solchen Falle die Hauptschwierigkeit sein mufs, die wechselnden perspectivischen Projectionen körperlicher Gegenstände kennen zu lernen. Denn der Blinde weifs natürlich gar nichts von der Möglichkeit einer solchen Projection. Aber einzelne Züge in dem Bericht zeigen, dafs die Dame auch solche Formen, die durch perspectivische Projection nicht entstellt waren, nicht zu erkennen wufste, wie zum Beispiel den Schlüssel und den Bleistifthalter. Ersterer mit Bart und Ring, von der Fläche gesehen, mufste auf der Netzhaut sich in derselben Gestalt darstellen, wie man ihn fühlt. Wenn also ein angeborenes Vermögen da wäre, die Formen der Netzhautbilder zu erkennen, im Sinne der nativistischen Theorie, so hätte der Schlüssel am Ringe und Barte erkannt werden müssen. Dazu kommt die mehrfach erwähnte Unfähigkeit, den Ort eines indirect gesehenen Objectes mit dem Blicke und der Hand zu finden. Wären die Richtungen der Verbindungslinien zwischen dem centralen und einem seitlichen Bilde der Netzhaut schon durch angeborene Anschauung bekannt, so könnte 593
es keine grofse Schwierigkeit gemacht haben, den Blick längs der Verbindungslinie, der Reihe der auf dieser liegenden Bilder folgend, nach dem gewünschten Punkte hinzuführen.

Es scheint mir dagegen nicht zu streiten, dafs dieselbe Dame am achtzehnten Tage nach der Operation einfache Formen zu unterscheiden wufste. Wenn man den Blick längs des Umfanges eines Kreises, eines länglichen Rechtecks, eines Quadrates laufen läfst, wird man unter ähnlichen Umständen wohl bald fähig sein, ein geradliniges Begrenzungsstück von einem krummlinigen zu unterscheiden, eine Ecke als solche zu erkennen, zu wissen, ob man den Blick hauptsächlich von oben nach unten, oder von rechts nach links laufen läfst, u. s. w.: was zur Erkennung der genannten Figuren genügen würde. Es ist hierbei nur nöthig, den Blick längs einer continuirlich fortlaufenden Umfangslinie fortzuführen, was natürlich leichter ist, als ihn nach einem entfernten Object im Seitentheil des Gesichtsfeldes hinzuleiten. Auch das Erkennen der Nase, als eines Vorsprunges an dem röthlichen Fleck, den das Gesicht ihres Bruders im Gesichtsfeld bildete, läfst sich auf diese Weise erklären. Die Uhr, die sie am ersten Abend untersuchte, hatte sie in der Hand und erkannte sie also durch das Getast; die Ziffern und Zeiger hat sie nicht als solche bezeichnet, sondern nur bemerkt, dafs sie markirte Stellen für das Gesicht seien, während der tastende Finger durch das Uhrglas hindurch nichts davon erkennen konnte. Diese Theile zu zeigen, war ihr möglich, indem sie das Bild ihres Fingers, was sie schon kannte, bis zu dem Bilde der genannten dunklen Objecte heranbewegte.

müsse, nähmlich vom Standpunkte seiner Theorie aus; er vergleicht es mit den Wahrnehmungen, welche durch gleichzeitige Wirkung des Tastgefühls und durch Betrachten eines Spiegelbildes unseres Körpers (z. B. beim Rasiren) zu Stande kommen können. Was das Problem des Aufrechtsehens trotz der umgekehrten Lage der Netzhautbilder betrifft, so erscheint uns nach MÜLLER wirklich alles verkehrt, und nur weil unser eigener Körper und die durch den Tastsinn an ihm markirten Stellen uns alle auch verkehrt erscheinen, tritt kein Widerspruch ein. Eigentlich werden also nach dieser Ansicht nicht die Bilder in den äufsern Raum durch unser Vorstellen projicirt, sondern der Anschauungsraum ist ein innerer, in den die anderweitigen Wahrnehmungen der Dinge hineingetragen werden. Consequenter noch hat UEBERWEG[1] diese Seite der MÜLLER'schen Theorie dargestellt, während HERING[2] diesen Anschauungsraum zu einem Raum von drei Dimensionen macht und eigenthümliche Hypothesen hinzugefügt hat, um die dritte Dimension desselben durch die Anschauung entstehen zu lassen, von denen erst in den folgenden Abschnitten die Rede sein kann. Der Letztgenannte hält auch in dem Abschnitt über einäugige Stereoskopie durchaus die Ansicht fest, dafs die Netzhaut sich so vollständig in ihrer Räumlichkeit anschaue, dafs sogar die Distanzen der Punkte auf ihr nach der geradlinigen Sehne, statt nach dem Bogen geschätzt werden, eine Ansicht, deren Unbrauchbarkeit zur Erklärung der Gesichtstäuschungen, die sie erklären soll, wir schon oben berührt haben, und die in directem Widerspruche zu stehen scheint mit der in § 118 und 124 desselben Werks gemachten Annahme, wonach eine Ebene der scheinbare Ort der von beiden Netzhäuten übereinstimmend und identisch gesehenen Punkte sein soll.

Eine unmittelbare Kenntnifs der Distanzen auf der Netzhaut als Grund der Vertheilung der gesehenen Punkte im Sehfeld liegt auch denjenigen Ansichten zu Grunde, welche eine unmittelbar angeborene Projection der Bilder in Richtung bestimmter Linien nach aufsen annahmen. PORTERFIELD[3] und BARTELS[4] liefsen diese Projection nach den Normalen der Netzhäute geschehen, VOLKMANN[5] nach 595
den Richtungslinien, das heifst den Linien, die durch die hintern Knotenpunkte gehen. In beiden Ansichten ist also wenigstens die Schätzung der Winkeldistanzen im Sehfelde durch angeborene Momente gegeben; ähnlich TOURTUAL.[6] VOLKMANN hat dann später seine Ansicht noch näher dahin specificirt, dafs er glaubt, die scheinbare Gröfse der Gesichtswinkel im Sehfelde hinge ab von der Zahl der einzelnen empfindlichen Nervenelemente, welche auf der entsprechenden Strecke der Netzhaut lägen.[7] Diese Ansicht von VOLKMANN liegt sehr vielen neueren Arbeiten über Physiologie des Auges zu Grunde; so benutzt sie unter andern namentlich auch RECKLINGHAUSEN,[8] um die Erklärung für die Abweichung des scheinbar verticalen Meridians und andere optische Täuschungen zu geben, indem er die Möglichkeit entsprechender Verziehungen des Netzhautbildes nachzuweisen sucht.

Die Rückkehr der Physiologen zu der älteren entgegenstehenden Ansicht, wonach alle Beurtheilung des Räumlichen auf Erfahrungen beruhe, findet ihr Vorspiel auf philosophischer Seite in den Ansichten von HERBART über die Sinneswahr-

[1] UEBERWEG, *Zeitschrift für rationelle Medicin.* R. 3, Bd. V, S. 268—282.
[2] E. HERING, *Beiträge zur Physiologie.* Leipzig 1864.
[3] PORTERFIELD, *On the eye*, II, 285.
[4] BARTELS, *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Berlin 1834.
[5] A. W. VOLKMANN, *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes.* Leipzig 1836.
[6] TOURTUAL, *Die Sinne des Menschen.* Münster 1827.
[7] A. W. VOLKMANN, *Berichte der Kön. Sächs. Ges. der Wissenschaften.* 30 April 1853.
[8] RECKLINGHAUSEN, *Archiv für Ophthalmologie*, V, 2, S. 127. — *Poggendorff's Annalen.* CX, 65—92.

nehmungen. Es war sein metaphysisches Princip von der Einheit der Seele, welches ihn veranlafste, alle Vorstellungen für qualitative und zeitlich einander folgende, nicht neben einander bestehende Processe zu erklären. Daher mufste er alle Raumanschauung von der Bewegung herleiten und die localen Unterschiede der Empfindung mufsten qualitative sein. LOTZE war es namentlich, der diese Ansichten auf die factischen Verhältnisse bei den sinnlichen Wahrnehmungen zu übertragen suchte, und an den sich physiologischerseits zunächst MEISSNER[1] und CZERMAK[2] in ihren Untersuchungen über den Tastsinn anschlossen. In der physiologischen Optik wurde die Aufmerksamkeit zunächst durch das Studium der Bewegungen des Auges wieder in diese Richtung gelenkt. Einer der ersten Schritte war die von BRÜCKE aufgestellte und in den folgenden Abschnitten zu besprechende Ansicht über den Einflufs der Bewegungen beim stereoskopischen Sehen. Ich selbst habe in einem populären Vortrage[3] die Sache von dieser Seite dargestellt. W. WUNDT[4] hat das Verdienst, den ersten vollständigeren Versuch gemacht zu haben, die Bildung des Sehfeldes aus den Bewegungserfahrungen herzuleiten, eine Aufgabe, deren Existenz und Wichtigkeit so gut wie ganz vergessen war. Er betrachtet darin als Localzeichen die qualitativen Veränderungen der Empfindung auf verschiedenen Stellen der Netzhaut, die von PURKINJE, AUBERT und SCHELSKE beobachtet waren und oben S. 372—374 erwähnt wurden. Ich habe diese Annahme in der oben gegebenen Darstellung nicht benutzt, weil ich nicht sehe, wie der Eindruck zum Beispiel von Schwarz in der Mitte des Feldes von Roth auf dem Randtheil local unterschieden werden kann, wenn kein anderes Erkennungszeichen für den localen Unterschied da ist, als der qualitative Unterschied, wonach Roth in der Mitte roth, am Rande des Sehfeldes schwarz erscheint. Die Beurtheilung der Distanzen im Sehfelde leitet WUNDT ab von dem Gefühl der Muskelanstrengung, welche nöthig sei, um sie mit dem Blicke zu durchlaufen. Da die Erfahrung lehrt, dafs das Urtheil über die
596 Muskelanstrengungen einige Sicherheit nur hat, wenn fortdauernd die Wirkungen derselben mit den Gesichtsbildern verglichen werden, so bin ich von den möglichen Erfahrungen über die Congruenz gleicher Strecken von correspondirender Richtung ausgegangen, welche Annahme, wie mir scheint, wesentlich bestätigt wird durch die Erfahrung, dafs Strecken von übereinstimmender Richtung genau und sicher verglichen werden, solche von nicht übereinstimmender Richtung nicht. Dadurch wird freilich nicht ausgeschlossen, dafs nicht auch das von WUNDT in Anspruch genommene Gefühl der Muskelanstrengung mitbenutzt werde.

Die Untersuchungen über die Genauigkeit des Augenmaafses wurden zunächst veranlafst durch E. H. WEBER'S[5] Gesetz, welches später von FECHNER[6] als psychophysisches Gesetz bezeichnet worden ist und wonach die kleinsten empfindbaren Unterschiede proportional der ganzen empfundenen Gröfse sind. Aufser den beiden Genannten hat namentlich auch VOLKMANN[7] eine grofse Reihe sorgfältiger Mes-

[1] G. MEISSNER. *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Haut.* Leipzig 1853. — *Zeitschrift für rationelle Medicin.* R. 2. Bd. IV S. 260.

[2] CZERMAK. *Sitzungsberichte der K. K. Akademie der Wiss. zu Wien* 1855. XV. 466 u. XVII. 577. — *Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen.* I. 183.

[3] H. HELMHOLTZ. *Ueber das Sehen des Menschen.* Leipzig 1855.

[4] W. WUNDT. *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* Leipzig u. Heidelberg 1862. Abdruck aus *Zeitschr. für rat. Medicin* 1858—1862.

[5] E. H. WEBER. *Über den Tastsinn und das Gemeingefühl,* S. 559 in WAGNER'S *physiologischem Wörterbuch.* — *Programmata collecta.* Fasc. III. 1851. — E. H. WEBER. *Berichte der sächs. Societät* 1852. S. 85 ff.

[6] TH. FECHNER. *Elemente der Psychophysik.* Leipzig 1860. Bd. I. S. 211—236.

[7] A. W. VOLKMANN. *Berichte der Sächsischen Soc.* 1858. p. 140. — *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.* Leipzig 1863. Heft I, S. 117—139.

sungen angestellt. Den Einflufs der Zeit, welche zwischen zwei solchen Vergleichungen verstreicht, hat F. HEGELMAYER[1] untersucht.

Den constanten Fehler in der Vergleichung horizontaler und verticaler Distanzen hat A. FICK zuerst bemerkt,[2] die constante Abweichung des scheinbar verticalen Meridians RECKLINGHAUSEN,[3] letzterer auch die scheinbare Krümmung der geraden Linie in den peripherischen Theilen des Sehfeldes, die Gesichtstäuschungen an Linienmustern ZOELLNER,[4] dessen Entdeckung dann von HERING,[5] A. KUNDT[6] und AUBERT[7] weiter verfolgt wurde.

Die ältere Geschichte und Literatur der Untersuchungen über den blinden Fleck, wobei es sich hauptsächlich um den Nachweis der Thatsache und um die physiologische Erklärung der Blindheit handelt, ist auf S. 273—274 gegeben. Die Untersuchungen über die Art der Ausfüllung der Lücke in der Vorstellung beginnen mit E. H. WEBER'S[8] Untersuchungen, denen sich A. FICK und P. DU BOIS-REYMOND[9] und VOLKMANN[10] anschlossen, die fast ausschliefslich richtige Localisation der rings um den Fleck gesehenen Objecte beobachteten und die Ausfüllung der Lücke psychologisch erklärten. Dagegen trat WITTICH[11] auf mit der Beobachtung falscher Localisationen, während FUNCKE[12] auf die Möglichkeit und das Vorkommen von individuellen Unterschieden in dieser Beziehung aufmerksam machte.

## § 29. Die Richtung des Sehens.

Die bisherigen Thatsachen bezogen sich nur auf die relative Lage der 598
verschiedenen leuchtenden Punkte neben einander im Gesichtsfeld. Wir müssen nun noch über die Beurtheilung ihrer absoluten Richtung sprechen. Dabei ist zunächst zweierlei zu unterscheiden. Im Allgemeinen ist die Richtung einer Linie gegeben durch zwei Winkel, die sie mit den Richtungen passend gewählter fester Axen oder Ebenen bildet, ohne dafs wir dabei festsetzen, dafs die Linie durch einen bestimmten Punkt gehen solle. Wir schreiben allen mit jener ersten Linie parallelen Linien die gleiche Richtung zu. So haben zum Beispiel alle Magnetnadeln, die innerhalb einer Stadt aufgehängt sind, die gleiche Richtung von Süden nach Norden. Etwas Anderes ist es, wenn wir die Richtung nicht nur im Allgemeinen gegen ein bestimmtes Coordinatsystem, wie es im Gebiete einer Stadt etwa die Lothlinie, die Niveauebene und in dieser der terrestrische Meridian darstellen, geben, sondern wenn wir die Richtungen alle auf einen bestimmten Mittelpunkt beziehen wollen. Dann sind die Richtungen darzustellen durch

[1] F. HEGELMAYER, *Vierordt's Archiv* XI, S 844—853.

[2] A. FICK, De errore quodam optico asymmetria bulbi effecto. Marburg 1851. Auszug in *Zeitschrift für rationelle Medicin*. R 2. Bd. II, S. 83.

[3] In den oben citirten Aufsätzen.

[4] ZOLLNER, *Poggendorff's Annalen* CX, S. 500—523.

[5] E. HERING, *Beiträge zur Physiologie*. Leipzig 1861. Heft I. S. 65—80.

[6] A KUNDT, *Poggendorff's Annalen* CXX, S. 118.

[7] H AUBERT, *Physiologie der Netzhaut*. Breslau 1865. S. 269—271.

[8] E. H. WEBER, Ueber den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge. *Verh. der Sächsischen Ges.* 1852. S. 138.

[9] *Müller's Archiv für Anat.* 1853. S. 396.

[10] A. W. VOLKMANN, *Berichte der Königl. Sächs. Ges.* 30. April 1853. S. 40

[11] V. WITTICH, *Archiv für Ophthalmologie*. IX. 3. 1863. S. 1—31.

[12] FUNCKE, *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br* Bd III, Heft 3, S. 12 u. 18.

ganz bestimmte gerade Linien, die durch den gewählten Mittelpunkt hindurchgehen, und deren Richtung aufserdem durch zwei Winkel zu bestimmen ist, die sie mit passend gewählten festen Axen machen. In diesem Falle kann die Richtung nicht bezeichnet werden durch eine andere parallele Linie, die die gleiche Richtung hat, sondern sie mufs dieselbe oder identische Richtung haben, das heifst, wenn hinreichend verlängert, mit der ersten Linie vollständig zusammenfallen.

So lange man nur von Gleichheit der Richtungen spricht, sind also nur Winkel zu bestimmen, welche die Richtung definiren; wenn man von Identität der Richtungen spricht, ist auch der Punkt zu bestimmen, welcher als Mittelpunkt gelten soll. Wir können sagen, dafs wir im ersteren Falle nur die Richtung bestimmen, im letzteren Falle eine bestimmte Richtungslinie.

Wenn wir nun von den Richtungen des Sehens sprechen, so beziehen wir diese allerdings auf einen Mittelpunkt, nähmlich auf uns selbst und unseren Standpunkt im Raume. Indessen giebt es eine Reihe von Erscheinungen, welche unabhängig sind von der Bestimmung des Mittelpunkts der Richtungslinien. Es sind dies namentlich alle diejenigen, welche beim Sehen entfernter Objecte eintreten können, der Sterne zum Beispiel oder auch weit entfernter Berge und Gebäude. Denn solche Objecte sind noth-
599 wendig auch grofs, und jede Richtungslinie, die durch irgend einen Punkt unseres Kopfes oder auch unseres Körpers geht, parallel einer bestimmten Richtung, wird das Object treffen.

Die Richtung, in der die Objecte des Sehfeldes liegen, wird im Allgemeinen, abgesehen von den schon bisher besprochenen Täuschungen, bestimmt sein, sobald erstens die Richtung der Blicklinie und zweitens die Richtung irgend eines durch den Blickpunkt gehenden Meridians gegeben ist.

Die Richtung, in welcher der Blickpunkt liegt, wechselt mit der Stellung des Auges gegen den Kopf, beziehlich gegen den Körper; indessen sind wir im Allgemeinen im Stande, die jedesmalige Richtung der Blicklinie richtig zu beurtheilen. Man hat die Empfindungen, auf denen die Wahrnehmung der durch Muskelwirkung veränderten Stellung der Theile unseres Körpers beruht, das Muskelgefühl genannt. Unter diesem Ausdruck sind aber mehrere wesentlich verschiedene Empfindungen von einander zu trennen. Wir können nähmlich wahrnehmen

1. die Intensität unserer Willensanstrengung, durch welche wir die Muskeln in Wirksamkeit zu setzen suchen;
2. die Spannung der Muskeln, also die Kraft, mit der diese zu wirken streben;
3. den Erfolg der Anstrengung, der, abgesehen von seiner Wahrnehmung durch andere Sinnesorgane, namentlich Gesicht und Getast, am Muskel sich äufsert durch wirklich eintretende Verkürzung, wobei auch an den Gliedern veränderte Spannung der sie bedeckenden Haut möglicher Weise wahrgenommen werden kann.

Ich kann bei sehr ermüdeten Muskeln zum Beispiel im Stande sein, wahrzunehmen, dafs ich den äufsersten Grad von Willensanstrengung aufbiete, um die Muskeln in Spannung zu versetzen, dafs aber deren Spannung nicht mehr genügend ist, den Erfolg zu erreichen. Andererseits kann ich bei kräftigen Muskeln durch eine mäfsige Willensanstrengung eine deutlich fühlbare Spannung der Muskeln hervorbringen, ohne doch wegen irgend eines äufseren Widerstandes den Erfolg zu erreichen, den ich wünsche. Alle diese Fälle unterscheiden sich in meiner Wahrnehmung von dem Falle, wo ich den Erfolg wirklich erreiche, und wir müssen diese verschiedenen Umstände auch in der Theorie des Muskelgefühls unterscheiden.

Wir beschränken uns in der vorliegenden Untersuchung natürlich auf die beim Auge vorkommenden Verhältnisse.

Zunächst zeigen bekannte Erfahrungen, dafs wir die Richtung unseres Blicks nicht nach der wirklich vorhandenen Stellung unseres Auges beurtheilen, wenn dieselbe durch andere Kräfte als die unserer Muskeln verändert ist. Wenn man auf den von den Lidern bedeckten Theil des Augapfels drückt, oder die den Augapfel umgebende Haut zerrt, so werden dadurch kleine Aenderungen in der Stellung des Augapfels selbst hervorgebracht. Am besten gelingt dies dadurch, dafs man am äufseren Augenwinkel eine Hautfalte zusammenkneift und dann das Auge nach innen wendet, so dafs die den Augapfel bedeckende Bindehaut an der äufseren Seite gespannt wird. Oeffnet man beide Augen, indem man an der Hautfalte zerrt, so erhält man Doppelbilder, indem das Bild des gezerrten Auges 600
nach einer anderen Richtung hin verlegt wird, als das Bild des andern, und öffnet man nur das erstere Auge, so sieht man bei jedem Zuge an der Hautfalte eine Scheinbewegung der Gegenstände im Gesichtsfelde eintreten. Jeder gerade nach aufsen am rechten Auge gerichtete Zug läfst die Gegenstände scheinbar nach links hin weichen. Die Richtung der Gesichtslinie wird hierbei nach rechts hin verschoben; wir beurtheilen aber die Lage der Gegenstände so, als wenn durch die Zerrung die Richtung der Gesichtslinie unverändert bliebe.

Dem entsprechend zeigt sich, dafs die Lage der Nachbilder, im geschlossenen Auge oder auf einen gleichmäfsigen unbegrenzten Schirm projicirt, bei der Zerrung scheinbar unverändert bleibt, während diese Bilder wirklich mit dem Auge bewegt werden.

Dagegen läfst auch während einer solchen Zerrung jede durch die Muskeln hervorgebrachte Bewegung der Augen die scheinbare Lage der äufseren Gegenstände unverändert, während die Nachbilder sich scheinbar bewegen.

Wenn wir so durch einen äufserlichen Zug den Augapfel nach aufsen rollen, wird natürlich der innere gerade Muskel desselben um ebenso viel gedehnt und der äufsere um ebenso viel kürzer, als wenn eine solche Rollung durch Muskelwirkung geschieht. Denn die Muskeln sind auch im ruhenden Zustande elastische Bänder, welche sich stets so weit verkürzen, als es die Lage ihrer Befestigungspunkte erlaubt.

Wir beurtheilen also die Richtung unserer Gesichtslinie weder nach der wirklichen Stellung des Augapfels, noch nach der von ihm abhängigen wirklichen Verlängerung oder Verkürzung der Augenmuskeln.

Dafs wir die Richtung der Gesichtslinie auch nicht nach der Spannung der Augenmuskeln beurtheilen, geht daraus hervor, dafs in solchen Fällen, wo Lähmungen einzelner Augenmuskeln plötzlich eingetreten sind, die Patienten, wenn sie ihr Auge nach einer Richtung zu bewegen streben, nach der sie es nicht mehr bewegen können, Scheinbewegungen sehen, die bei gleichzeitig geöffnetem anderen Auge Doppelbilder hervorbringen. Wenn also zum Beispiel der äufsere gerade Muskel des rechten Auges oder sein Nerv gelähmt ist, so kann das Auge nicht mehr nach der rechten Seite herübergezogen werden. So lange der Patient es nur nach der inneren Seite wendet, macht es noch regelmäfsige Bewegungen, und er nimmt die Richtung der Objecte im Gesichtsfeld richtig wahr. Sobald er versucht es nach aufsen, also nach rechts hin zu wenden, folgt es seinem Willen nicht mehr, sondern bleibt in der Mitte stehen und die Objecte bewegen sich scheinbar nach rechts, obgleich die Stellung des Auges und der Netzhautbilder im Auge unverändert bleibt.

In einem solchen Falle eines gelähmten Muskels tritt in Folge der Willensanstrengung weder Bewegung des Auges, noch Verkürzung der zu verkürzenden Muskeln, noch auch erhöhte Spannung in diesen Muskeln ein. Der Willensact hat aufserhalb des Nervensystems gar keine Folgen mehr und doch urtheilen wir über die Richtung der Gesichtslinie so, als hätte der Wille die normalen Wirkungen ausgeübt; wir glauben, dafs die Gesichtslinie sich in dem letztgenannten Falle nach rechts verschoben habe, und da die Lage der Netzhautbilder auf der Netzhaut des gelähmten Auges hierbei unverändert bleibt, erscheint uns das so, als machten die Objecte die irrthümlich vorausgesetzte Bewegung des Augapfels mit.

Ist die Lähmung nicht vollständig, so dafs das Auge zwar noch ein nach aufsen liegendes Object fixiren kann, dazu aber einen gröfseren Aufwand von Innervation des gelähmten Muskels bedarf, als im normalen Zustande, so tritt doch eine falsche Vorstellung von der Richtung der Gesichtslinie und von der Lage des Objectes ein, wie man dadurch erkennen kann, dafs man den Patienten schnell nach dem Objecte greifen läfst. Er greift dann zuerst daneben.[1]

Diese Erscheinungen lassen keinen Zweifel darüber, dafs wir die Richtung der Gesichtslinie nur beurtheilen nach der Willensanstrengung, mittels der wir die Stellung der Augen zu ändern suchen. Es giebt zwar auch gewisse schwache Empfindungen in unseren Augenlidern, wenn sich die Hornhaut unter ihnen verschiebt, welche uns über die wirkliche Stellung des Auges einigermaafsen unterrichten könnten, und ferner fühlen wir bei angestrengten

[1] A. v. Graefe im *Archiv für Ophthalmologie*, Bd. I. Abth. I, S. 67. Anmerkung. — A. Nagel, *Das Sehen mit zwei Augen*, 1861, S. 124—129. Alfred Graefe im *Archiv für Ophthalmologie*, XI. 2. S. 6—16.

Seitenbewegungen der Augen eine ermüdende Spannung in den Muskeln, aber alle diese Empfindungen scheinen zu schwach und zu unbestimmt zu sein, als dafs sie für die Wahrnehmung der Richtung verwerthet werden könnten.

Wir wissen also, welche Willensimpulse und wie stark wir sie anzuwenden haben, um das Auge in eine bestimmte beabsichtigte Stellung zu versetzen. Da unter den gewöhnlichen normalen Umständen sich der Bewegung des Auges keine fremden Hindernisse entgegensetzen, so kann auch meistens aus der Stärke des Willensimpulses der Effect genügend beurtheilt werden, viel vollständiger wenigstens, als dies bei den Extremitäten und den meisten andern beweglichen Theilen des Körpers möglich sein würde. Die einzige Wirkung des Willensimpulses, die wir am Auge direct und hinreichend deutlich wahrnehmen, ist die veränderte Lagerung der Objecte im Sehfeld bei der neuen Stellung des Auges. Es läfst sich nun zeigen, dafs wir in der That diese Veränderungen des Bildes fortdauernd als Controlle für das richtige Verhältnifs der Willensimpulse zu ihrem Effecte benutzen.

Man setze sich zwei Glasprismen von 16 bis 18 Grad brechenden Winkels in ein Brillengestell zusammen, so dafs die brechenden Winkel beider nach links gekehrt sind. Die Gegenstände des Gesichtsfeldes erscheinen durch diese Prismen alle nach links von ihrem wirklichen Orte abgelenkt. Man vermeide es zunächst, die Hand in das Gesichtsfeld zu bringen, betrachte sich irgend ein bestimmtes erreichbares Object genau, schliefse dann die Augen und versuche mit geschlossenen Augen das Object mit dem Zeigefinger zu treffen; man wird natürlich links daneben vorbeifahren. Wenn man aber diese Versuche eine Weile fortgesetzt hat, oder noch schneller, wenn man die Hand in das Gesichtsfeld bringt und mit ihr kurze Zeit hindurch unter Leitung des Auges die Objecte betastet, so wird man finden, dafs man bei Wiederholung des erst beschriebenen Versuchs nicht mehr
vorbeifährt, sondern die Objecte richtig trifft; ebenso auch neue Objecte, 602
die man an Stelle der schon bekannten bringt. Hat man dies erreicht und versucht man nun, nachdem man die Hand aus dem Gesichtsfelde entfernt, die Prismen weggenommen und irgend ein Object angeblickt hat, dies bei geschlossenen Augen zu greifen, so wird man finden, dafs man jetzt mit der Hand rechts vorbeifährt, bis durch mehrere vergebliche Versuche die Beurtheilung der Richtung, in der die Augen stehen, wieder berichtigt ist.[1]

Dafs hierbei nicht etwa das Muskelgefühl der Hand und die Beurtheilung von deren Ort, sondern die Beurtheilung der Blickrichtung gefälscht wird, ergiebt sich daraus, dafs, wenn man, durch die Prismen blickend, sich gewöhnt hat, mit der rechten Hand die gesehenen Objecte zu treffen, und man die mit der rechten Hand berührten Objecte nun bei geschlossenen Augen mit der linken, vorher gar nicht benutzten und nicht im Gesichtsfelde gewesenen Hand zu treffen sucht, man sie ganz sicher und richtig trifft.

[1] Der Versuch ist von CZERMAK im Wesentlichen ähnlich angegeben in *Wien. Berichte.* XVII, 575—577.

Man bestimmt also in einem solchen Falle durch das Tastgefühl den Ort vollkommen richtig und weiſs ihn nach dieser Angabe durch ein anderes tastendes Organ sicher zu finden.

Daſs vierteljährige Kinder erst sehr langsam lernen ihre Hände nach Gesichtsobjecten hin zu dirigiren, wenn sie schon sehr gut wissen, sie nach dem Munde oder nach einer juckenden Hautstelle, also mittels Tastempfindungen, zu lenken, lehrt die Erfahrung. Wie also hier die Uebereinstimmung zwischen Augenbewegungen und Handbewegungen erst durch Versuche gelernt wird, so muſs ihre Genauigkeit auch bei Erwachsenen durch immer erneute Versuche und Beobachtungen fortwährend controllirt werden.

Ich habe schon früher angeführt, daſs die Uebereinstimmung der Bewegungen beider Augen in ähnlicher Weise gestört werden kann, wenn man durch ein Prisma das Bild des einen Sehfeldes allmählich in die Höhe schiebt; dann folgt das betreffende Auge, und beide Augen fahren fort einfach zu sehen, während das eine etwas mehr nach oben gerichtet ist als das andere. Auch hier kommt es schnell zur Gewöhnung, diese Stellung als die normale Fixationsstellung zu benutzen; und wenn man die Prismen fortnimmt, fährt man fort in derselben Weise zu fixiren, wobei man über einander stehende Doppelbilder der Objecte erhält, die sich erst bei einer Aenderung der Augenstellung schnell wieder vereinigen. Es zeigt sich hierbei, daſs auch die übereinstimmende Stellung beider Augen nach dem Erfolg geregelt wird, indem man sich gewöhnt, solche Willensimpulse zu geben, welche geeignet sind, unter den obwaltenden Umständen beide Fixationspunkte auf dasselbe Object zu richten.

Es gehört hierher ferner die Erfahrung, daſs, wenn man bewegte Objecte längere Zeit zu fixiren bemüht gewesen ist, nachher ruhende Objecte in der entgegengesetzten Richtung bewegt erscheinen. Man bezeichnet das Sehen dieser Scheinbewegungen als *Schwindel*. Wenn man zum Beispiel in einem Eisenbahnzug fährt und eine Weile nach den drauſsen dicht an der Bahn befindlichen Gegenständen geblickt hat, dann aber den Blick auf den Fuſs-
603 boden des Wagens wirft, so erscheint dieser, der sich zum Körper des Reisenden in relativer Ruhe befindet, in Richtung des Zuges von ihm fort zu fliehen.

Es erklärt sich dies daraus, daſs die Gegenstände an der Bahn eine scheinbare, der des Zuges entgegengesetzte Bewegung haben. So oft der Reisende einen derselben zu fixiren sucht, muſs er seine Augen schnell der Richtung des Zuges entgegen bewegen. Nachdem er sich gewöhnt hat, die unter diesen Umständen ausgeübten Willensimpulse als die für die Fixation eines Objects geeigneten zu betrachten, versucht er in derselben Weise auch ruhende Objecte zu fixiren. Die genannten Willensimpulse bringen aber Bewegungen der Augen hervor, und da der Beobachter seine Augen für festgestellt hält, so scheinen sich ihm nun die Objecte und zwar der vorher angeschauten objectiven Bewegung entgegengesetzt zu bewegen.

Wenn man dagegen, während man aus dem Wagen blickt, etwa ein

Pünktchen in der Fensterscheibe dauernd fixirt, so kommt der beschriebene Gesichtsschwindel nicht zu Stande, obgleich man wie vorher bewegte Objecte hat vorbeifliegen sehen, aber ohne die zu ihrer Fixation nöthigen Bewegungen zu machen. Bei ganz fester Fixation eines zum Auge relativ ruhenden Punktes verwischen sich übrigens auch die Bilder der bewegten Objecte vollständig bei der für diese Täuschung nöthigen Geschwindigkeit. Man kann diese nur erkennen, wenn man ihnen kurze Strecken mit den Augen folgt. Die dazu nöthigen Augenbewegungen bleiben meist unbewufst, und sie sind deshalb von Plateau[1] und Oppel,[2] welche über diese Erscheinungen Beobachtungen angestellt haben, nicht bemerkt worden. Dafs aber solche Augenbewegungen vorhanden sind, folgt aus dem Umstand, dafs bei absolut fester Fixation die bewegten Bilder sich verwischen.

Dasselbe beobachtet man bei dem Drehschwindel, wenn man sich mit offenen Augen eine Weile um seine eigene Längsaxe gedreht hat. So wie man anhält, scheinen die Objecte sich noch eine Zeitlang in der Richtung fortzubewegen, in der man sich gedreht hat. Ich finde, dafs nach einer Drehung mit geschlossenen Augen diese Art der Scheinbewegung nicht eintritt, so bald man die Augen erst öffnet, wenn man wirklich bis zum festen Stehen gekommen ist. Thut man es früher, so tritt eine Scheinbewegung der Gegenstände entgegengesetzt der bisherigen Drehung des Körpers ein; aber man überzeugt sich auch leicht, dafs der Körper auf den Füfsen noch etwa eine Viertelkreisdrehung ausführt, ehe er wirklich zu Ruhe kommt, zu einer Zeit, wo man ihn schon für ruhend hält. Dann ist also eine Täuschung über die Haltung des Körpers Ursache der Scheinbewegung der Objecte. Zuweilen kommt übrigens auch diese der objectiven Drehung des Körpers entgegengesetzte Schwindelbewegung nach der Drehung mit offenen Augen zum Vorschein, wie denn überhaupt dieser Versuch nicht so rein ist wie die andern, bei denen der Körper des Beobachters nicht mitbewegt wird.

Es kommen auch solche Arten von Gesichtsschwindel vor, wo verschiedene Theile des bewegten Körpers verschieden gerichtete Bewegung gehabt haben. *601*
Wenn man z. B. die in *Fig. 196*, S. 531 dargestellte Scheibe mit der Spirale rotiren läfst, so scheint die Spirale, je nach der Richtung ihrer Drehung, sich entweder fortdauernd auszudehnen oder zusammenzuziehen. Hält man die Scheibe plötzlich an, so scheint sie nachher sich einen Augenblick zusammenzuziehen, wenn sie sich vorher ausdehnte, oder auszudehnen, wenn sie sich vorher zusammenzog. Und auch andere Objecte, z. B. ein bedrucktes Blatt Papier, was man unmittelbar nach der Spirale betrachtet, zeigen eine solche Contractions- oder Dilatationsbewegung.

Viel weniger deutlich ist eine ähnliche Schwindelbewegung, die sich nach Anblick einer rotirenden sternförmigen Figur einstellt, und wobei der objectiv ruhende Körper, den man betrachtet, sich ein wenig in entgegengesetzter Richtung zu drehen scheint, als der Stern.

[1] Plateau in *Poggendorff's Annalen*, LXXX, 287. *Bull de Bruxelles* XVI
[2] Oppel ebenda, XCIX, 543.

Am deutlichsten werden diese letztern Scheinbewegungen, wenn man den Blick nach dem ruhenden Mittelpunkte der Axe richtet, dabei aber im indirecten Sehen auf die bewegte Figur achtet, welche nicht so schnell rotiren darf, daſs man ihre einzelnen Züge nicht mehr wahrzunehmen im Stande wäre, aber auch nicht so langsam, daſs man sie ganz ohne Schwierigkeit wahrnimmt. Wenn man ganz scharf den Mittelpunkt der Axe fixirt und nur auf diesen achtet, so hat man allerdings auf den Seitentheilen der Netzhaut, ebenso wie vorher, die bewegte Figur, aber die Schwindelbewegung tritt nicht ein. Es scheint mir daraus hervorzugehen, daſs bei diesem Achten auf die bewegte Figur leise Augenbewegungen im Spiele sind, wahrscheinlich kreisförmige Bewegungen, deren Richtung immer auf denjenigen Theil des Sehfeldes hinzielt, auf den die Aufmerksamkeit des indirecten Sehens gerade gerichtet ist. In der That würde ohne solche Bewegungen, die der bewegten Figur nachfolgen, die letztere nicht ganz so deutlich erscheinen können, als sie es bei derjenigen Art des Anblickens thut, die den Schwindel entwickelt. Wenn dieselbe Art des Blickens nachher auf einen ruhenden Gegenstand angewendet wird, muſs dieser natürlich eine entgegengesetzte Scheinbewegung zeigen.

So lange wir eine groſse Zahl ruhender Gesichtsobjecte vor uns haben, ist es leicht, an diesen fortdauernd sich über den Grad der Innervation zu vergewissern, der nöthig ist, um das Auge in bestimmten Stellungen festzuhalten. Wenn man dagegen überwiegend bewegte Massen vor sich hat, ist es schwer, das Urtheil über Ruhe und Bewegung richtig zu erhalten. Wenn man auf einem Balken über einen schnell flieſsenden Bach gehen will, muſs man vermeiden, nach dem Wasser zu sehen, um nicht das Gleichgewicht zu verlieren. Wenn man auf einem der unteren Gerüste des Schlosses Laufen an den Rheinfall herantritt und nichts vor sich sieht als die stürzende Wassermasse, so entsteht eine Neigung hintenüber zu fallen. Eben deshalb wird man auf Schiffen so verwirrt in der Orientirung; man fühlt den Zug der Schwere scheinbar bald nach rechts, bald nach links, bald nach vorn oder nach hinten gehend, weil man die Richtung der Verticale nicht mehr zu finden weiſs. Nach längerer Gewöhnung erst lernt man, wie ich an mir selbst erfahren habe, die Schwerkraft als Orientirungsmittel brauchen, und
605 dann hört auch der Schwindel auf. Dem Neuling scheint in der Cajüte eines Schiffs das in Cardanischer Aufhängung befestigte Barometer hin und her zu schwanken, welches in Wirklichkeit immer senkrecht hängt, die Cajüte dagegen festzustehen, während ihn selbst die Schwerkraft bald hier, bald dorthin zerrt. Sobald man den Schwindel verloren hat, sieht man das Barometer feststehen und die Cajüte schwanken. Wie sehr aber hierbei die Sicherheit der Innervation der Augenmuskeln zeitweilig leidet, zeigt sich daran, daſs Passagiere, die seekrank waren, sogar nachher am Lande, bei jeder schnellen Bewegung der Augen die Wände des Zimmers, in dem sie sich befinden, scheinbar dieselben Bewegungen ausführen sehen, welche die Cajüte des Schiffs zu machen pflegte.

Alle diese Erscheinungen lassen deutlich erkennen, dafs eine fortdauernde Controlle der für die Augenstellungen und Augenbewegungen nothwendigen Innervationsstärke durch die Beobachtung ihres Erfolgs an den Gesichtsbildern stattfinden mufs, wenn richtige Urtheile über die Richtung der Gesichtslinie und der fixirten Gegenstände gefällt werden sollen.

Eine andere Art von Täuschung, die hierher gehört, hat F. Zöllner[1] beschrieben. Man zeichne auf ein Blatt Papier einen Kreis und schneide in ein anderes dunkles und steifes Blatt einen Schlitz, der länger ist als der Durchmesser des Kreises und dessen Breite $^1/_{10}$ bis $^3/_{10}$ dieses Durchmessers beträgt. Man halte das Blatt mit dem Schlitz fest und schiebe unter ihm das Blatt mit dem Kreise hin und her, so dafs der Kreis selbst hinter dem Schlitz sich vollständig vorbeischiebt, bald in der einen, bald in der anderen Richtung. Unter diesen Umständen erscheint der Kreis wie eine Ellipse, deren gröfsere Axe senkrecht zur Richtung der Bewegung gestellt ist. Der Grund davon ist darin zu suchen, dafs der Beobachter, indem er die bewegte Figur zu sehen sich bestrebt, unwillkührlich und ohne es deutlich zu wissen, ihr mit den Augen folgt, aber mit geringerer Geschwindigkeit. Dadurch entstehen nach einander auf den verschiedenen Streifen der Netzhaut, auf denen der Spalt während dieser Bewegung sich abbildet, Eindrücke von dem gerade vorliegenden Stücke des Kreises gerade wie bei dem Anorthoskop, nur dafs bei diesem der Spalt selbst bewegt, das Auge ruhig ist, während hier das Auge bewegt ist und der Spalt stillsteht. Der optische Eindruck ist hierbei derselbe, als ob der Spalt sich in entgegengesetzter Richtung wie das Auge bewegte, also auch entgegengesetzt dem bewegten Bilde, und dies giebt im Anorthoskop, wie oben S. 498—500 auseinandergesetzt ist, eine scheinbare Verkürzung der Figur nach der Richtung der Bewegung.

Dafs Augenbewegungen der Grund dieser Täuschung sind, kann man daraus erkennen, dafs man bei der Geschwindigkeit, welche die Täuschung am besten zeigt, überhaupt nichts mehr von der Figur erkennen kann, sobald man ganz fest einen Punkt am Rande des Spalts fixirt. Um die Figur erkennen zu können, mufs man ihr eben mit dem Auge folgen. Aufserdem kann ein zweiter Beobachter auch solche Augenbewegungen bemerken, wie Zöllner gefunden hat.

Wenn man den Kreis sehr langsam hinter dem Spalte vorbeizieht, so 606
erscheint er im Gegentheil in Richtung der Bewegung verlängert zu sein. Das mag davon herrühren, dafs die Theile der Begrenzungslinie, welche im Spalte erscheinen, wegen der scheinbaren Vergröfserung der spitzen Winkel steiler gegen die Seiten des Spaltes zu stehen scheinen, als sie wirklich sind. Dasselbe würde aber in Wirklichkeit der Fall sein, wenn eine quer verlängerte Ellipse hinter dem Spalt vorbeigezogen würde, daher der Beobachter denn die Figur als eine solche Ellipse deutet.

[1] F. Zöllner, Ueber eine neue Art anorthoskopischer Zerrbilder in *Poggendorff's Annalen*, 1862

Nachdem wir uns durch die vorher beschriebenen Thatsachen überzeugt haben, dafs die Uebereinstimmung zwischen den Wahrnehmungen durch das Gesicht und denen des Tastsinns auch beim ausgebildeten Auge eines Erwachsenen dauernd nur durch die fortlaufende Vergleichung mit der Erfahrung erhalten wird, erledigt sich die so übermäfsig viel behandelte Frage über den Grund, warum wir die Gesichtsobjecte aufrecht sehen trotz des verkehrten Netzhautbildes, ganz von selbst. Der Tastsinn an und für sich ist fähig, vollständige Raumanschauungen auszubilden, selbst ohne alle Hilfe durch den Gesichtssinn; wir wissen dies durch die Erfahrungen an blindgeborenen Personen. Ja, die Richtung der Schwere, welche das Oben und Unten bestimmt, wird sogar ausschliefslich durch den Tastsinn und nicht durch den Gesichtssinn unmittelbar wahrgenommen. Dafs die Gesichtsempfindungen an und für sich, ohne alle vorausgängige Erfahrung Vorstellungen von einer bestimmten Richtung des Gesehenen hervorrufen sollen, ist eine, wie mir scheint, vollkommen unnöthige Hypothese, und noch weniger begründet ist vom Standpunkte der empiristischen Ansicht aus die Voraussetzung, dafs die Vorstellung der Richtung hierbei sogar beeinflufst sein soll durch den Ort, wo sich das Bild auf der Netzhaut befindet, dafs ein unten abgebildeter Punkt auch deshalb unten erscheinen müfste, während doch das natürliche Bewufstsein nicht einmal von der Existenz einer Netzhaut oder optischer Bilder auf ihr, geschweige denn von der Lage derselben etwas weifs.

In der nativistischen Theorie der Sinneswahrnehmungen, wo man voraussetzt, dafs die Nervenreizung auch unmittelbar und unabhängig von aller Erfahrung die Vorstellung eines gewissen Orts des wahrgenommenen Objects hervorbringen soll, mufs allerdings vorausgesetzt werden, dafs die angeborenen Localisationen durch das Gesicht in einer gewissen angeborenen Uebereinstimmung mit denen durch den Tastsinn sich befinden, sei es nun, dafs man sich denkt, die Sehnervenfasern, welche von den unteren Seiten der Netzhäute kommen, wendeten sich im Gehirn nach oben, und es entstände dort ein richtig gestelltes Bild der Objecte, was die Seele anschaute, oder dafs man das Anschauen in den Netzhäuten vor sich gehen läfst und die Tastwahrnehmungen entsprechend den auch verkehrt gesehenen eigenen Händen und Beinen des Beobachters ebenfalls verkehrt in dieses Anschauungsbild eintragen läfst, wo dann also alle unsere Raumvorstellung verkehrt sein und bleiben würde. Es ist hier natürlich der weiteste Spielraum für die wildesten Hypothesen eröffnet.

Ich meine, dafs eine angeborene Uebereinstimmung der Localisationen durch den Gesichtssinn und Tastsinn den Erfahrungen gegenüber, welche die
607 Wirksamkeit der fortdauernden Controlle für die richtigen Beziehungen beider Sinne auf einander durch die Erfahrung beweisen, nicht festgehalten werden kann, weil man sonst in die Schwierigkeit kommt, dafs die angeblich angeborene und durch unmittelbare Empfindung gegebene Uebereinstimmung jeden Augenblick durch Erfahrung, also durch Urtheilsacte so verändert und

überwältigt werden kann, dafs von dieser hypothetischen Empfindung sich gar nichts mehr merklich macht.

Meines Erachtens hat der Streit über den Grund des Aufrechtsehens nur das psychologische Interesse zu zeigen, wie schwer selbst Männer von bedeutender wissenschaftlicher Befähigung sich dazu verstehen, das subjective Moment in unseren Sinneswahrnehmungen wirklich und wesentlich anzuerkennen und in ihnen Wirkungen der Objecte zu sehen, statt unveränderter Abbilder *(sit venia verbo)* der Objecte, welcher letztere Begriff offenbar sich selbst widerspricht.

Wir haben bisher nur untersucht, in welchen Richtungen wir weit entfernte Objecte zu sehen glauben; es bleibt noch übrig, das Centrum zu bestimmen, auf welches diese Richtungslinien bezogen werden, was namentlich für die Beurtheilung der Richtung naher Objecte nicht gleichgültig ist. Gewöhnlich ist früher die Annahme gemacht worden, dafs jedes Auge die gesehenen Gegenstände in Richtung der auf Seite 91 definirten Richtungslinien nach aufsen setze, wonach dann die Richtungen, in denen nahe Gegenstände gesehen werden, im Allgemeinen für beide Augen verschieden sein würden. In dieser Beziehung hat E. Hering auf eine merkwürdige Täuschung aufmerksam gemacht, vermöge deren wir die Richtung der gesehenen Gegenstände so wahrnehmen, als ob beide Augen in der Mittelebene des Kopfes ständen und auf ihren gemeinsamen Fixationspunkt gerichtet wären.

Es mögen im Anfang beide Augen $A$ und $B$, *Fig. 228*, hinausblicken in parallelen Richtungen $Aa$ und $Bb$, das Auge $B$ aber möge dann geschlossen werden, während $A$ noch immer das unendlich weit entfernte Object $a$ fixirt und die Richtungen beider Augen also unverändert bleiben. Man sieht $a$ unter diesen Umständen in richtiger Richtung. Jetzt accommodire man $A$ für einen viel näher gelegenen Punkt $f$ der Linie $Aa$, wobei also die Lage des Auges $A$ und seiner Gesichtslinie $Aa$, so wie der Ort des Netzhautbildes von $a$ auf der Netzhaut des Auges $A$, ganz unverändert bleiben und das Netzhautbildchen nur etwas weniger scharf begrenzt wird. Der Erfolg ist, dafs eine Scheinbewegung des Objects $a$ eintritt, wodurch es etwa in die Richtung $Ac$ hinüberrückt. So wie man wieder für unendliche Ferne accommodirt, weicht $a$ scheinbar an seinen ersten Platz zurück.

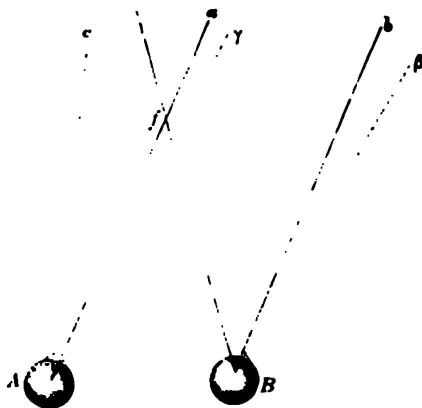


*Fig. 228*

Nun verändert sich bei diesem Versuche durchaus nicht die Richtung 608
der Gesichtslinie $Aa$, wenigstens nicht um eine bemerkbare und in Betracht

kommende Gröfse, sondern nur die Stellung des verschlossenen Auges *B* verändert sich, weil bei dem Streben, für den Punkt *f* zu accommodiren, sich gleichzeitig auch die andere Gesichtslinie auf *f* hinrichtet. Die Gesichtslinie des Auges *B* kommt also, während *f* fixirt wird, in die Richtung *Bf*.

Umgekehrt ist es mir möglich, meine Gesichtslinien etwas divergent zu machen auch bei geschlossenen Augen, so dafs das Auge *B* in der Richtung B$\beta$ blickt. Diese Divergenz kann ich nur langsam erreichen und sehe deshalb keine deutliche Scheinbewegung. Dagegen tritt eine solche ein, wenn ich mit der Anstrengung für die Divergenz plötzlich nachlasse und nun die Gesichtslinien in parallele Stellung zurückspringen. Dabei sehe ich dann das Object *a* etwa aus der Stellung $\gamma$ nach *a* zurückweichen.

Es hat also nicht nur die Stellung des sehenden Auges *A*, sondern auch die des geschlossenen Auges *B* Einflufs auf unsere Beurtheilung der Richtung, in der der fixirte Gegenstand liegt. Wenn das geöffnete Auge unbeweglich stehen bleibt, das geschlossene Auge sich aber nach rechts oder links bewegt, bewegt sich scheinbar auch der vom geöffneten Auge fixirte Gegenstand nach rechts oder links.

Für meine beiden Augen ist die Gröfse dieser Scheinbewegung ziemlich verschieden; sie ist gering, wenn das rechte geöffnet ist und fixirt, viel gröfser, wenn das linke geöffnet, das rechte geschlossen ist. Die Richtung der Gesichtslinie wird also nach den Innervationen, welche auf beide Augen gleichzeitig ausgeübt werden, bestimmt und nicht allein nach der des geöffneten Auges. Dabei dürfen wir wohl vermuthen, dafs die scheinbare Richtung der Gesichtslinie im Allgemeinen der mittleren Richtung der Gesichtslinien beider Augen entspricht, wobei aber bei Leuten, die gewöhnt sind, beim Mikroskopiren und Teleskopiren ein Auge vorzugsweise zu gebrauchen, die scheinbare Richtung sich der wahren Richtung der Gesichtslinie des bevorzugten Auges mehr annähert, als der des andern Auges. Genauere Aufschlüsse über die scheinbare gleichzeitige Richtung beider Gesichtslinien werden wir später durch das Phänomen der Doppelbilder erhalten.

Ich habe nun gefunden, dafs auch für die scheinbare Lage des Netzhauthorizonts eine ähnliche Abhängigkeit von den Raddrehungen beider Augen besteht, wie für die scheinbare Richtung der Gesichtslinie.

Die darauf bezüglichen Versuche gelangen mir selbst am einfachsten in folgender Weise. Ich spannte über das eine Ende einer cylindrischen Röhre von etwa einem Fufs Länge einen schwarzen Faden als Durchmesser aus, nahm das andere Ende der Röhre vor ein Auge, während das zweite Auge geschlossen war, hielt vor das entferntere Ende der Röhre ein weifses Blatt Papier, so dafs ich nichts von den Gegenständen des Zimmers sah, und suchte nun den schwarzen Faden durch Drehung der Röhre um ihre Längsaxe möglichst genau horizontal oder vertical zu stellen, und zwar mit parallel gerichteten Blicklinien, eine Bedingung, die ich auch bei verschlossenem zweiten Auge zu erfüllen gelernt habe. Wenn ich dann das

weiſse Papier von dem vorderen Ende der Röhre wegzog, konnte ich die 609
Richtung, welche ich dem Faden gegeben hatte, mit der Richtung verschiedener objectiver horizontaler und verticaler Linien vergleichen, die sich im Zimmer vorfanden. Ich setzte mich bei diesen Versuchen fest auf einen Lehnstuhl und bog den Kopf bald vornüber, bald hintenüber, oder hielt ihn vertical, während die Röhre immer horizontal gehalten, dabei aber bald gerade aus, bald nach rechts, bald nach links gerichtet wurde, so daſs sich dabei die Blicklinie nach einander in alle möglichen Lagen gegen den Kopf einstellte.

Es zeigte sich, daſs ich in allen diesen Stellungen, soweit das Auge sich ohne fühlbaren Zwang bewegen konnte, bei parallelen Blickrichtungen die horizontal erscheinende Linie wirklich horizontal stellte und die vertical scheinende nur um einen solchen Winkel von der wirklich verticalen abweichen lieſs, wie der scheinbar verticale Meridian des betreffenden Auges vom wirklich verticalen abweicht.

Es geht also namentlich aus diesen Versuchen hervor, daſs keineswegs in jeder Stellung des Auges der ursprünglich horizontale Meridian, den wir Netzhauthorizont genannt haben, immer für horizontal und der darauf senkrechte für vertical gehalten wird.[1] Im Gegentheil bei seitlich und stirnwärts oder wangenwärts gerichtetem Blick kann der Netzhauthorizont Winkel bis zu zehn Graden mit der Horizontalebene machen, und doch wird auch dann eine wirklich horizontale und in der horizontalen Visirebene liegende Linie für horizontal gehalten.

Anders gestaltet sich die Sache, wenn man die Augen convergiren läſst. Man schaue bei hintenüber gebogenem Kopfe durch das horizontal geradeaus gerichtete Rohr und richte den Faden bei parallelen Gesichtslinien horizontal. Prüft man seine Richtung, so findet man ihn dann, wie gesagt, wirklich horizontal. Jetzt fixire man einen Punkt des Fadens selbst, oder accommodire möglichst für die Nähe, während die Richtung des Blicks unverändert bleibt. Sogleich erleidet der Faden eine sehr auffallende scheinbare Drehung, und zwar in dem Sinne, wie sich der Netzhauthorizont des anderen Auges des Beobachters dreht, indem dieses Auge aus der Parallelstellung in die Convergenzstellung übergeht. Blickt man also zum Beispiel bei hintenüber gebogenem Kopfe mit dem rechten Auge horizontal gerade aus, so senkt sich bei eintretender Convergenz das rechte Ende des Fadens scheinbar, während sich das linke hebt. Bei vornüber gebogenem Kopfe ist es umgekehrt. Umgekehrt auch für das linke Auge. Soll der Faden bei convergenten Augen horizontal erscheinen, so muſs die Röhre um einige Grade im entgegengesetzten Sinne seiner scheinbaren Ablenkung gedreht werden, worauf er bei wiederhergestellten parallelen Blickrichtungen nicht mehr horizontal erscheint. Die hierbei anzuwendenden Drehungen der Röhre

[1] Herr E. Hering hat die Regel in dieser Form aufgestellt (*Beiträge zur Physiologie* S. 254), aber er hat nicht in parallelen Augenstellungen experimentirt und nicht in solchen Blickrichtungen, wo sich die Abweichung hätte zeigen können, da sein Fixationspunkt immer in der Medianebene lag.

sind viel bedeutender, als die aufserordentlich kleinen wirklichen Drehungen meines beobachtenden Auges bei eintretender Convergenz des andern (siehe Seite 626) und können durch diese nicht erklärt werden.[1]

610 Wir haben hier vielmehr eine Erscheinung gleicher Art, wie bei der Beurtheilung der Richtung der gesehenen Gegenstände. Trotz der unveränderten Haltung des sehenden Auges bringt die veränderte Richtung und Drehung des nicht sehenden ein verändertes Urtheil über die Richtungen der horizontalen und verticalen Linien hervor.

Da nicht alle Beobachter die Fähigkeit haben, willkührlich ohne entsprechenden Fixationspunkt ihre Augen parallel oder convergent zu stellen, habe ich die Methode für parallele Gesichtslinien noch in folgender Weise abgeändert. Vor einer breiten einförmig angestrichenen grauen Wand wurde ein langer schwarzer Faden mit einem kleinen Gewichte vertical aufgehängt. An dem Gewichte waren rechts und links noch horizontale Fäden befestigt, die durch Ringe gingen. Einer dieser Fäden wurde durch ein kleines Gewicht gespannt gehalten, der andere war zum Beobachter hingeleitet, der etwa sechs Fufs von dem verticalen Faden entfernt safs, und je nachdem der Beobachter diesen Faden anzog oder nachliefs, wurde der verticale Faden etwas nach rechts oder links von der Verticallinie abgelenkt. Der Beobachter blickte durch eine cylindrische, horizontal gehaltene Röhre nach dem verticalen Faden, so dafs er keine anderen verticalen oder horizontalen Linien im Gesichtsfelde hatte, und suchte jenen Faden genau vertical zu stellen. Das untere Ende des verticalen Fadens bewegte sich vor einer kleinen Scale, an der seine Ablenkung abgelesen werden konnte.

Nach dieser Methode hat Herr Dr. Dastich im Heidelberger physiologischen Laboratorium Versuche angestellt. Sein linkes Auge, welches normalsichtig war, wurde hauptsächlich gebraucht, da das rechte kurzsichtig ist. Um den Faden vertical zu sehen, stellte er das untere Ende desselben stets etwas nach rechts, entsprechend dem Sinne der Abweichung des scheinbar verticalen vom wirklich verticalen Meridian. Die Abweichung von der Verticale betrug:

| | |
|---|---|
| **Linkes Auge.** | |
| Kopf senkrecht, geradeaus sehend: | 1° 52′ |
| nach rechts sehend: | 2° 4′ |
| nach links sehend: | 1° 49′ |
| Kopf vorgebeugt, geradeaus sehend: | 1° 37′ |
| rechts oder links sehend: | 2° 22′ |
| Kopf zurückgebeugt, geradeaus sehend: | 1° 37′ |
| rechts oder links sehend: | 2° 7′ |
| **Rechtes Auge.** | |
| Kopf senkrecht, geradeaus sehend: | — 0° 42′. |

[1] Messungsreihen über die Gröfse dieser Winkel konnte ich nicht machen, weil oft wiederholte starke Accommodationsanstrengungen mir bald heftiges Kopfweh machen.

Die Schrägstellungen waren alle so weit von der Primärstellung entfernt, als es ohne fühlbare Anstrengung der Augenmuskeln anging. Zwischen den nach unten rechts und nach unten links gekehrten Blickrichtungen hätte sich ein Unterschied von etwa 16° zeigen müssen, wenn immer derselbe Meridian des Auges der verticalen Richtung entspräche; statt dessen war der Unterschied unmerklich klein. Ebenso bei den nach oben rechts und oben links gekehrten Blickrichtungen. Die kleinen Unterschiede, welche sich überhaupt zwischen den Winkeln des linken Auges hier zeigen, mögen von kleinen Unregelmäfsigkeiten der Augenbewegung herrühren, vielleicht 611
auch von dem Umstande, dafs die Blickrichtungen zwar nahehin, aber doch nicht absolut parallel waren. Nach brieflichen Mittheilungen sind die Linien, welche Herr A. Volkmann als senkrecht einstellt, bei parallelen Gesichtslinien weder immer absolut senkrecht, noch mit dem verticalen Meridiane übereinstimmend, sondern scheinen etwa mitten zwischen der Richtung einer absolut verticalen Ebene und der des verticalen Meridians des Auges zu liegen. Herr Volkmann ist kurzsichtiger als Herr Dastich und ich selbst, und es könnte diese Abweichung vielleicht davon herrühren, dafs kurzsichtige Augen überhaupt bei parallelen Blicklinien nicht genau genug sehen, um eine sichere Einübung zu gewinnen.

Die Differenz, welche durch die Convergenzstellungen entsteht, kann man bei diesen Versuchen dadurch nachweisen, dafs man erst den entfernten langen Faden senkrecht einstellt, dann bei derselben Kopfhaltung den in der Röhre ausgespannten Faden, diesen fortdauernd fixirend, und endlich die Stellung beider Fäden vergleicht.

Wenn man endlich mit convergentem Blicke einen Punkt in der Medianebene des Kopfes fixirt, so werden, wie Hering[1] gefunden hat, Linien für horizontal gehalten, welche der Lage des Netzhauthorizonts des betreffenden Auges entsprechen. Er steckte zu dem Ende zwei Cylinder vom Durchmesser des Gesichts in einander, deren Länge etwa 5—6 Zoll betrug. Ueber das vordere Ende eines dieser Cylinder war ein Faden gespannt, dessen Mitte fixirt wurde und der durch Drehung des Cylinders scheinbar horizontal gestellt werden konnte. Die Einstellung wurde 10 bis 20 mal wiederholt und dann das Mittel genommen.

Die beschriebenen Thatsachen zeigen, dafs in Bezug auf die Raddrehungen ein ähnlicher Einflufs beider Augen besteht, wie in Bezug auf die Beurtheilung der Richtungen, und es scheint, dafs man die bisher vorliegenden Thatsachen (die allerdings noch genaueren Messungen unterzogen werden müssen) unter folgende Regel anschaulich vereinigen kann, welche eine Erweiterung des von Hering für die Richtungen des Sehens aufgestellten Princips sein würde.

[1] E. Hering, *Beiträge zur Physiologie* S. 254—256. Die Polemik, welche Herr Hering auf diesen Versuch gestützt, gegen mein Princip der leichtesten Orientirung geführt hat, und ebenso die Begründung seines dagegen aufgestellten Princips der vermiedenen Scheinbewegung fällt aber zu Boden, weil das Resultat dieses Versuchs mit seinen Angaben nur übereinstimmt, wenn der Fixationspunkt in der Medianebene liegt.

Man denke sich in der Mitte zwischen beiden Augen ein imaginäres mittleres Cyclopenauge, welches auf den gemeinsamen Fixationspunkt beider Augen gerichtet ist, und dessen Raddrehungen nach demselben Gesetze erfolgen, wie die der beiden wirklichen Augen. Man denke sich die Netzhautbilder aus einem der wirklichen Augen in dieses imaginäre Auge übertragen, so dafs Blickpunkt auf Blickpunkt und Netzhauthorizont auf Netzhauthorizont fällt. Dann werden die Punkte des Netzhautbildes nach aufsen projicirt, in der Richtungslinie des imaginären Cyclopenauges.[1]

Stellen wir also zum Beispiel unser rechtes Auge fest, lassen aber das linke aus paralleler in convergente Stellung übergehen, also sich nach rechts
612 bewegen, wobei es im Allgemeinen auch eine Raddrehung machen wird, so müfste sich auch das Cyclopenauge um einen etwa halb so grofsen Winkel nach rechts drehen und eine etwa halb so grofse Raddrehung machen. Die Folge davon ist, dafs die Gesichtsbilder des rechten ruhenden Auges scheinbar um denselben Winkel verschoben und gedreht werden, wie das Cyclopenauge.

So lange der Fixationspunkt in der Medianebene liegt, erleidet das Cyclopenauge keine Raddrehung, und dem entsprechend erscheinen für alle diese Stellungen die Netzhauthorizonte horizontal.

Um die Erklärung dieses sonderbaren Verhaltens zu geben, müssen wir uns erinnern, dafs unser natürliches Sehen binocular ist, und dafs wir unmittelbar aus der Erfahrung nur lernen die Lagenverhältnisse von Körpern, die wir fixiren, zu beurtheilen in Beziehung auf die Lage unseres eigenen Körpers, den wir fühlen. Rechts für uns ist ein Körper, der rechts von der Mittelebene unseres Körpers liegt, der aber, wenn er dieser näher als unser rechtes Auge ist, mit schwacher Linkswendung des rechten Auges bei starker Rechtswendung des linken gesehen werden kann. Wir gehen nicht darauf aus, die Richtung der Objecte gegen jedes einzelne unserer Augen, nicht einmal gegen unseren Kopf, sondern vielmehr gegen unseren Rumpf, als den Träger unserer Bewegungsorgane zu beurtheilen. Auf die letztere Beziehung kommt es in praktischer Beziehung wesentlich an.

Das sinnliche Zeichen für ein rechts gelegenes Object ist also nicht, dafs eines oder beide Augen bei seiner Fixation nach rechts gewendet sind, sondern nur, dafs ihre mittlere Richtung nach rechts gewendet ist. Die Eindrücke der einzelnen Augen von einander zu sondern, sind wir auch nur in wenigen Fällen geübt, nähmlich in denen, wo es praktische Wichtigkeit hat, wie beim zweiäugigen Sehen von Körpern. Daher sind wir gut geübt, die gemeinsame mittlere Richtung und Drehung beider Augen wahrzunehmen und nach ihr die Lage der fixirten Objecte zu beurtheilen, aber schlecht geübt, die Richtung jedes einzelnen Auges zu beurtheilen oder

[1] Der wesentliche Unterschied gegen die Regel von HERING ist, dafs ich das Cyclopenauge Raddrehungen machen lasse, während HERING dessen Netzhauthorizont immer in der Visirebene liegen läfst.

überhaupt im Bewufstsein zu trennen, was dem einen oder anderen Auge angehört.

Wenn wir also von Richtung des Sehens reden, so sind wir nicht gewöhnt und nicht geübt die verschiedene Richtung beider Augen von einander zu unterscheiden, und beziehen diese Richtung überhaupt auf die Mittelebene unseres Kopfes, beziehlich unseres Körpers. In diesem Sinne hat Hering Recht, wenn er die Projectionen beider Augen in das Gesichtsfeld auf einen gemeinsamen Mittelpunkt, der zwischen beiden in der Mittelebene des Körpers, in der Gegend des Nasenrückens liegt, bezieht. Es ist dies ein richtiger Ausdruck der Thatsachen, wenn ich es auch nicht, wie der genannte Beobachter, als ursprüngliches Fundament für die Erklärung der Gesichtserscheinungen benutzen möchte, schon deshalb nicht, weil auf einen Theil der hierher gehörigen Erscheinungen die Richtung der Aufmerksamkeit einen merklichen Einflufs hat.

Man blicke mit einem Auge nach einem entfernten Objecte und halte vor den unteren Theil des Gesichtes ein Blatt Papier so, dafs man die eigenen Hände und Arme nicht sehen kann. Man schiebe dann den Zeigefinger der rechten Hand unter dem deckenden Schirme so in die Höhe, als wollte man nach dem gesehenen Gegenstande hinzeigen. Der Finger wird 613
hinter dem Papier links von dem fixirten Gegenstande zum Vorschein kommen, wenn man mit dem rechten Auge hinblickt, rechts, wenn man mit dem linken sieht.

Umgekehrt ist der Erfolg, wenn man nicht nach einem entfernten Objecte, sondern nach einem nahen, etwa einem Pünktchen am Rande des Papierschirmes, blickt und den Finger in gröfserer Entfernung so hervorzuschieben sucht, dafs er gerade hinter diesem Pünktchen erscheine.

Dieser Erfolg entspricht der von Hering aufgestellten Regel. Beim gewöhnlichen unbefangenen Sehen beziehen wir die Sehrichtungen auf unsere Nasenwurzel und schieben den Finger ein zwischen diese und das fixirte Object, wobei er denn in der That nicht in die wirkliche Gesichtslinie zu liegen kommt.

Der hier beschriebene Versuch mifslingt aber auch oft. Wenn ich nähmlich meine Aufmerksamkeit auf den Umstand concentrire, dafs ich nur mit dem rechten Auge sehe und lebhaft an den Ort des rechten Auges im Kopfe denke und dann den Finger vorschiebe, um das fixirte Object zu verdecken, so schiebe ich ihn wirklich in der richtigen Richtung vor.

Wir kommen auf die hier besprochenen Erscheinungen noch wieder zurück in der Lehre vom Doppelsehen.

Hierher gehört auch die Erfahrung, die ich oft gemacht habe, dafs, wenn ich bei geschlossenen Augen einen Zeigefinger in die Höhe halte und ihn mit noch geschlossenen Augen zu fixiren suche, ich im Moment des Oeffnens Doppelbilder des Fingers sehe, welche parallele oder fast parallele Richtung der Blicklinien anzeigen, wobei diese Linien auf beiden Seiten ungefähr gleich weit am Finger vorbeischiefsen. Sonderbarer Weise erhalte

ich aber eine deutlichere Vorstellung vom Orte des Fingers, wenn ich bei geschlossenen Augen seine Spitze mit dem Daumen derselben Hand berühre und reibe. Dann bin ich in der That im Stande, schon bei geschlossenen Lidern die Augen so einzustellen, dafs ich den Finger einfach sehe im Augenblick, wo ich sie aufschlage. Dasselbe geschieht auch, wenn ich mit dem Finger einen äufseren festen Körper berühre und betaste.

Wenn nun endlich durch die Vergleichungen der Tast- und Gesichtswahrnehmungen die Kenntnifs der Richtung gewonnen ist, in der wir die gesehenen objectiven Gegenstände zu suchen haben, so ergiebt sich daraus auch schliefslich die Localisation der anderweitig entstandenen optischen Bilder und subjectiven Erregungen unserer Netzhaut und unseres Sehnervenapparats.

Wir verlegen nähmlich alle Erregungen der Sehnervenfasern nach dem Gesetze hinaus in den Raum, dafs wir Lichterscheinungen in denjenigen Theilen des Sehfeldes oder beider Sehfelder zu haben glauben, in denen körperliche Objecte erscheinen würden, welche im Stande wären, durch ihr Licht die entsprechenden Stellen der Netzhäute zu beleuchten. Die Richtigkeit dieser Behauptung zeigt sich einfach dann, wenn wir subjective Erscheinungen hervorrufen, während gleichzeitig wirkliche Objecte im Gesichtsfelde gesehen werden. Wenn wir z. B. ein Nachbild von der Sonne im Auge entwickelt haben und nach der Landschaft hinsehen, so deckt sich
614 dieses Nachbild mit gewissen äufseren Objecten, welche wir wegen der Existenz des Nachbildes schlechter sehen, als wir sonst gethan hätten. Gewisse Theile der Netzhaut sind ermüdet; die Bilder derjenigen äufseren Objecte, welche sich darauf abbilden, sind dunkler als sonst. Der Inbegriff dieser dunkleren Objecte im Gesichtsfelde ist das Nachbild. Es ist also selbstverständlich, dafs das Nachbild im Gesichtsfelde zusammenfällt mit denjenigen Objecten, welche sich auf der ermüdeten Stelle der Netzhaut abbilden. Ebenso können Schatten entoptischer Objecte, Gefäfsfiguren. Druckbilder, elektrische Bilder im Gesichtsfelde mit äufseren Objecten zusammenfallen. Eine solche Coincidenz bewirkt allemal, dafs die Empfindung des von aufsen kommenden Lichts gewisser Punkte des Gesichtsfeldes entweder ausgelöscht, oder geschwächt, oder mit anderen subjectiven Lichtempfindungen gemischt wird. Indem wir die entsprechende Veränderung in dem Aussehen gewisser äufserer Punkte bemerken, kann natürlich die Veränderung im Gesichtsfelde nicht anders localisirt werden, als diejenigen Punkte, welche verändert erscheinen, schon localisirt sind, und die subjective Erscheinung mufs nach denselben Regeln in die Aufsenwelt hinausverlegt werden, welche als Ergebnifs der Erfahrung für die durch wirkliches äufseres Licht wahrgenommenen Punkte erlernt worden sind.

Nun können freilich einzelne subjective Lichterscheinungen auch im ganz dunklen Gesichtsfelde vorkommen, wo sie natürlich nach derselben Regel localisirt werden. Wenn sie hier auch nicht mit wahrnehmbaren Bildern wirklich gesehener äufserer Gegenstände zusammenfallen, so ist doch

für jede Stelle der Netzhaut durch Erfahrung die Richtung schon bekannt, in welcher gesehene Objecte liegen müfsten, die sich auf ihr abbilden, mit welchen alsdann das subjective Phänomen zusammenfallen würde. Dafs auch im dunklen Felde die subjectiven Erscheinungen, Nachbilder zum Beispiel, nach demselben Gesetze wie die Eindrücke wirklich gesehener Objecte localisirt werden, zeigt sich empirisch dann, wenn wir das dunkle Gesichtsfeld, ohne das Auge zu bewegen, plötzlich hell machen; so sehen wir auch das Nachbild, und zwar ohne dafs es seinen Platz veränderte, nunmehr mit bestimmten Objecten vor uns zusammenfallen und diese decken. Da es beim Uebergang von Dunkel zu Hell seinen Platz nicht änderte, so war es also schon vorher so localisirt, wie die äufseren Objecte, mit denen es schliefslich zusammenfiel.

Diese Betrachtungen lassen wohl über die Richtigkeit unseres Gesetzes keinen Zweifel, wonach jeder Eindruck auf die Netzhaut genau in denjenigen Theil des Gesichtsfeldes verlegt wird, wo ein äufseres Object erscheinen würde, welches passend gelegen ist, um bei geradlinigem Einfall des Lichtes in das Auge denselben Eindruck auf die Netzhaut zu machen.

Das Gesetz läfst sich auch durch directere Versuche erweisen, aber freilich nicht mit sehr grofser Schärfe. Wir wissen, dafs ein rechts gelegenes leuchtendes Object auf der linken Seite der Netzhaut abgebildet wird, ein links gelegenes auf der rechten, ein oben liegendes unten, ein unten liegendes oben. Bei Leuten mit dünnen und durchscheinenden Augenhäuten können wir das optische Bild eines sehr hellen Lichtes, ja sogar an den angegebenen Stellen durch die Sclerotica scheinen sehen (S. 86). Wenn wir nun die rechte Seite des Auges mit dem Nagel drücken, sehen wir das *615*
Druckbild links (S. 236). Wenn wir durch eine Brennlinse starkes Licht aufsen auf die rechte Seite der Sclera auffallen lassen, erscheint uns links im Gesichtsfelde eine entsprechende Lichterscheinung. Wenn wir an der genannten Stelle einen absteigenden elektrischen Strom aus dem Auge austreten lassen, erscheint uns ebenfalls links der entsprechende helle Fleck.

Wenn wir das Auge dagegen links reizen, haben wir die subjective Erscheinung rechts im Gesichtsfelde, wenn wir unten reizen, haben wir sie oben, wenn oben, unten.

Die optischen Täuschungen, welche auf diesem Principe beruhen, sind sehr zahlreich. Wir können sie in folgende Hauptklassen eintheilen:

1) Die Lichtstrahlen des Objects sind, ehe sie in das Auge treffen, von ihrem Wege abgelenkt worden durch Reflexion, Refraction oder Diffraction. Wenn das Licht nach der Veränderung seines Weges homocentrisch bleibt, so glauben wir im Allgemeinen, mit Vorbehalt der beschriebenen Urtheilstäuschungen, das Object an derjenigen Stelle des Raumes zu sehen, wo der Durchschnittspunkt der in das Auge eintretenden (nöthigenfalls rückwärts verlängerten) Strahlen liegt. Wir nennen diesen Durchschnittspunkt deshalb das optische Bild des Objectes (S. 55). Von dieser Art sind die optischen Wirkungen unserer dioptrischen und katoptri-

sehen Fernröhre und Mikroskope, unserer ebenen und kugelig gekrümmten Spiegel, der Loupen und anderer Glaslinsen, so wie auch der Prismen, wenn sie so angewendet werden, dafs sie merklich homocentrisches Licht geben. Ich brauche hier auf die Wirkung dieser Instrumente nicht näher einzugehen, da die Lehre davon einen breit und sorgfältig ausgebildeten Zweig der physikalischen Optik bildet. Alle diese Instrumente entwerfen optische Bilder der Objecte, welche wir statt der letzteren zu sehen glauben, sie bringen also optische Täuschungen hervor, aber solche, deren Irrthum wir leicht zu vermeiden wissen, während wir im Stande sind an den vergröfserten oder sonst veränderten optischen Bildern mancherlei zu erkennen, was wir bei directer Betrachtung des Objects nicht erkennen können. Ein ebener Spiegel läfst uns die Objecte von einem Standpunkte aus sehen, den wir in Wirklichkeit oft nicht einnehmen können, nähmlich vom Standpunkte eines hinter der Spiegelebene befindlichen Beobachters, der z. B. unser eigenes Gesicht von vorn erblickt, was wir direct nicht können. Ein Prisma trennt uns die Bilder eines lichten Objects, welche den verschiedenen einfachen Farben seines Lichts entsprechen, und so fort.

Wenn bei der Veränderung des Weges das Licht nicht homocentrisch bleibt, erblicken wir dagegen mehr oder weniger verwaschene lichte Stellen in denjenigen Theilen des Gesichtsfeldes, welche den beleuchteten Stellen der Netzhaut entsprechen. Von dieser Art sind die Erscheinungen des Regenbogens, die Diffractionsfransen, das Glitzern bewegten Wassers und so weiter.

2) Das Licht fällt geradlinig in das Auge, letzteres ist aber nicht für den leuchtenden Punkt accommodirt. Ist die Pupille frei, so erscheinen in einem solchen Falle im Gesichtsfelde statt leuchtender Punkte leuchtende Flächen mehr oder weniger unregelmäfsig gebildet in Form
616 der bekannten strahligen Figur kleiner Zerstreuungskreise (S. 170); kleinere Objecte, wie die Mondsichel, erscheinen sehr gewöhnlich als doppelt oder mehrfach (S. 171 u. 172). Es sind diese Erscheinungen bedingt dadurch, dafs das Licht eines Punktes des Objects nicht mehr auf einen einzelnen Punkt der Netzhaut concentrirt wird, sondern sich über eine kleine Fläche derselben zerstreut. Der beleuchteten Netzhautfläche entsprechend wird eine flächenhaft ausgebreitete Lichterscheinung im Gesichtsfelde gesehen.

Wenn nicht die ganze Pupille frei ist, sondern man durch ein Kartenblatt mit einer engen Oeffnung blickt, so erscheinen die Objecte auch in falscher Richtung und Gröfse; bewegt man das Kartenblatt, so bewegt sich auch scheinbar der Gegenstand, wie dies auf S. 118 erklärt ist. Hier hat allerdings jeder helle Punkt des Objects ein fast punktförmiges Bild auf der Netzhaut, aber dieses hat wegen der mangelhaften Accommodation des Auges nicht seine normale Lage.

Wenn man durch Kartenblätter mit zwei oder drei Oeffnungen sieht, erblickt man bei mangelhafter Accommodation die Objecte verdoppelt oder verdreifacht.

Diese Versuche sind wichtig, weil sie erkennen lassen, dafs auch die genaue Accommodation des Auges mit zu den Bedingungen des normalen Sehens gehört, auf welches sich die Einübung bei der Localisation der Sinneseindrücke bezieht. Wir projiciren die Zerstreuungskreise oder die Theile der Zerstreuungskreise, welche beim Sehen durch enge Oeffnungen stehen bleiben, so in das Gesichtsfeld, als wären es Bilder, die bei genauer Accommodation gebildet wären. Für jeden beleuchteten Punkt der Netzhaut setzen wir auch dabei wieder einen lichten Punkt in das Gesichtsfeld. Es haben auch diese Versuche bei der Entwickelung der physiologischen Optik einige Wichtigkeit gehabt, weil sie erkennen liefsen, dafs nicht die Richtung, in welcher ein Lichtstrahl in das Auge gelangt, noch die Richtung, in welcher er die Netzhaut trifft, sondern nur der Ort der Netzhaut, welcher getroffen wird, die Richtung der Projection bestimmen. Betrachtet man *Fig. 63* auf S. 119, so weichen hier die Projectionslinien $f\varphi$ und $g\gamma$ wesentlich von den wirklichen Richtungen der gebrochenen und ungebrochenen Strahlen ab.

3) Es erscheinen körperliche Objecte aus dem Auge selbst, wie die entoptischen Objecte: fliegende Mücken, Gefäfsschatten, Netzhautgrube u. s. w., wie sie in § 15 und zum Theil in § 25 beschrieben sind. Diese beschatten die hintere Schicht der Netzhaut und erscheinen deshalb im Gesichtsfelde selbst als Schatten. Die optische Täuschung versetzt hierbei also Gegenstände, die im Auge liegen, nach aufsen und zwar meistentheils in verkehrter Lage, da gewöhnlich der Schatten des Objects auf der Netzhaut aufrecht stehend ist. Da die Lage dieser Gebilde sich nur durch ihre subjective Erscheinung bestimmen läfst, so lehren sie für die Theorie nichts Neues.

4) Die Nerven werden gereizt, oder ihre Erregungsstärke wird verändert. In diesen Fällen ist nicht das Licht selbst, sondern die Lichtempfindung verändert; hierher gehören die Druckbilder, das Accommodationsphosphen, die leuchtenden Garben an der Eintrittsstelle des Sehnerven bei Bewegung des Auges, das* Eigenlicht der Netzhaut, die elek- 617
trischen Erscheinungen, wie sie in § 17 beschrieben sind. Bei dieser letzten Klasse von Erscheinungen besteht die Täuschung nicht mehr allein in einer falschen Localisation eines leuchtenden oder dunklen Objects. Es ist vielmehr gar kein solches vorhanden, sondern nur die Empfindung, welche der Regel nach durch solche Objecte hervorgebracht zu werden pflegt.

Bei gesunden Menschen im wachen Zustande treten alle diese täuschenden Erscheinungen, welche wir beschrieben haben, im Gesichtsfelde wohl ein, und lassen sich nicht einmal beseitigen durch die bessere Einsicht, wodurch sie als Täuschungen anerkannt werden. Indessen ist diese bessere Einsicht in der Regel vorhanden, die Täuschung ist als Täuschung anerkannt. Wenn wir durch ein optisches Instrument oder in einen Spiegel sehen, so wissen wir, dafs wir unter abgeänderten Bedingungen sehen, und lernen bald die richtigen Urtheile über die wirkliche Beschaffenheit der

Gegenstände mittelst des falschen Bildes fällen. Wir lernen zum Beispiel nach dem Anblick des Spiegelbildes uns rasiren, kämmen u. s. w., trotzdem dieses Bild überall rechts und links verkehrt zeigt. Wir lernen nach einiger Uebung mit Nadeln unter der Loupe oder selbst unter dem zusammengesetzten Mikroskope zu präpariren, obgleich beide Instrumente jede Bewegung unserer Hand in übertriebener Gröfse, das letztere auch in verkehrter Richtung zeigen, so dafs wir also sogar eine neue Einübung unserer Bewegungen nach falschen optischen Bildern ausbilden können.

Bei den übrigen Erscheinungen, welche in dem Auge selbst ihren Grund finden, scheint es namentlich der Umstand, dafs die subjectiven Phänomene sich mit dem Auge bewegen, zu sein, welcher sie als subjectiv erkennen läfst. Bei schnell aufblitzenden Erscheinungen der Art, welche ebenso schnell wieder verschwunden sind, fällt dieses Merkmal fort, und da kann man in der That oft zweifelhaft sein, ob man etwas Wirkliches gesehen habe. Wenn man zum Beispiel im Finsteren seinen Weg sucht und im indirecten Sehen bei einer Bewegung des Körpers und Auges seitlich ein Lichtschein aufblitzt, ist mitunter der bestunterrichtete Beobachter aufser Stande bestimmt zu sagen, ob ein solcher objectiv oder subjectiv war. Dafs manche Gespenstergeschichten durch solche subjective Erscheinungen hervorgerufen sind, ist sehr wahrscheinlich. Das Eigenlicht der Netzhaut ist reich an Gestaltungen, denen von einem furchtsamen Menschen leicht allerlei wunderliche Deutungen untergeschoben werden können, namentlich wenn er das Auge starr auf die gefürchtete Erscheinung richtet und daher nicht bemerken kann, dafs sie sich mit dem Auge bewegt. In Fiebern und Gehirnkrankheiten, wo die regelrechte Verbindung der Vorstellungen gestört ist, die einzelnen nicht fest gehalten, verglichen und combinirt werden können, fehlt dann auch die zur Anerkennung der subjectiven Natur der genannten optischen Erscheinungen nöthige Ueberlegung, und es knüpfen sich daran häufig phantastische Vorstellungen. Im Säuferwahnsinn sind schwarze Flecke im Gesichtsfelde, welche sich mit dem Auge schnell umherbewegen; diese erwecken die Vorstellung von herumlaufenden Mäusen, schwarzen Käfern oder Fliegen. In Fieberphantasien erkennt man aus den Beschreibungen der Kranken dagegen
618 oft die lichten und farbigen Punkte und Kreise wieder, welche bei leichtem Druck auf das Auge auch bei Gesunden hervorgebracht werden können und bald für Feuerfunken, bald für feurige Augen u. s. w. gelten.

Bei den bisher beschriebenen Erscheinungen ist von uns immer angenommen worden, dafs der Kopf aufrechte Haltung habe, oder wenn nicht, dafs wir eine richtige Kenntnifs seiner Neigung haben. Schliefslich ist noch eine Täuschung zu erwähnen, welche von einer falschen Schätzung der Richtung des Kopfes herrührt. AUBERT[1] brachte in einem Fensterausschnitt eines übrigens verdunkelten Zimmers einen Spalt von 5 Centimeter Länge und 2 Centimeter Breite an, der den einzigen hellen und sichtbaren Gegen-

[1] H. AUBERT, *Virchow's Arch. f. pathol. Anatomie.* Bd. XX.

stand in dem umgebenden Raume bildete. War diese helle Linie vertical und neigte er den Kopf nach rechts, so dafs das rechte Ohr sich nach unten richtete, so erschien die Linie geneigt von rechts unten nach links oben. Neigung des Kopfes nach links gab die entgegengesetzte Scheinverschiebung der Linie. War die Linie unter 45 Grad gegen den Horizont geneigt und verlief von links unten nach rechts oben, so erschien sie bei der Neigung des Kopfes nach rechts vertical, ja über die Verticale hinaus nach entgegengesetzter Richtung gedreht. Bei der Neigung nach links erschien sie horizontal, ja über die Horizontale hinausgedreht. Das Maximum der Drehung der hellen Linie trat ein, wenn der Kopf um etwa 135° geneigt war.

Die Drehung der hellen Linie folgt der Neigung des Kopfes, wenn diese langsam ausgeführt wird, ziemlich unmittelbar; neigt man aber den Kopf plötzlich bedeutend, so vergehen einige Secunden, bevor die Linie die Drehung vollendet.

Wenn man bei unverändert schiefer Haltung des Kopfes das Zimmer beleuchten läfst, so erscheint die verticale Linie wieder vertical. Läfst man das Licht auslöschen, so geht sie in ihre frühere Neigung zurück.

Wir haben es hierbei nicht zu thun mit einer wirklichen Drehung des Auges im Kopfe, wie man sich mit Hilfe von Nachbildern überzeugen kann. Ein im verticalen Meridian des Auges entwickeltes Nachbild scheint bei einer Drehung des Kopfes um einen rechten Winkel nach rechts im dunklen Zimmer nicht horizontal zu liegen, wie es wirklich liegt, sondern schräg von links unten nach rechts oben, und eine objective helle Linie, welche wirklich diese letztere Neigung hat, erscheint vertical.

Die Täuschung beruht vielmehr darauf, dafs wir im Dunkeln die Seitenneigung unseres Kopfes für kleiner halten, als sie wirklich ist.

Statt im dunklen Zimmer zu beobachten, kann man die Linie auch an einer einförmig angestrichenen Wand anbringen und vor das Gesicht einen cylindrischen Schirm anbringen, der den Anblick aller seitwärts gelegenen Gegenstände verhindert.

Es gehören hierher ferner die bekannten Erscheinungen über die Scheinbewegungen der gesehenen Gegenstände, wenn unser Körper selbst auf einem Nachen oder in einem langsam und leise vorwärts bewegten Eisenbahnwagen in Bewegung ist, oder umgekehrt die täuschende Erscheinung einer eigenen scheinbaren Bewegung, wenn wir selbst zwar ruhig sitzen, aber die 619
vor uns befindlichen Gegenstände mit constanter Geschwindigkeit bewegt sind. Das gröfste Beispiel der ersteren Art ist die scheinbare Ruhe der Erde und die scheinbare Bewegung des Sternenhimmels. Zweifel entstehen oft, wenn auf einer Station zwei Eisenbahnzüge neben einander halten, in deren einem sich der Beobachter befindet und den andern betrachtet. Wenn dann einer von beiden sich in Bewegung setzt, ist es oft schwer zu ermitteln, ob dies der eigene oder der andere ist, wenn es nicht gelingt feststehende Theile des Erdbodens oder der Gebäude zu sehen. Auch in Sternwarten mit drehbarem Kuppeldach, wie solche für die Auf-

stellung des Heliometers gebraucht werden, tritt bei der Drehung des Daches wohl die Täuschung ein, dafs sich der Fufsboden drehe und das Dach still stehe.

Im Allgemeinen hält man dabei gewöhnlich den gröfseren Theil des gesehenen Gesichtsfeldes für ruhend, den kleineren für bewegt. Dann kommt aber hinzu, dafs wir beim Anfange einer Bewegung Stöfse oder Erschütterungen unseres Körpers oder wenigstens Wirkungen der Trägheit seiner schweren Masse zu fühlen erwarten. Wenn nun die Bewegung sehr leise beginnt, wie die eines Nachens, so glauben wir nicht uns in Bewegung zu befinden, oder wenn wir Stöfse gefühlt haben, wie von einem dicht daneben fahrenden Eisenbahnzuge, die sich auf den stehenden übertragen, so glauben wir bewegt zu sein. Wenn die eine oder andere Deutung gleich möglich ist, kann der Beobachter auch willkürlich die eine oder andere Anschauung in sich erzeugen.

Für die Beobachtung des Gesichtsschwindels, der durch eine angeschaute Bewegung entsteht und den Herr J. J. Oppel an strömendem Wasser (dem Rhein bei Schaffhausen kurz vor dem Falle) bemerkt hatte, hat derselbe einen Apparat construirt, den er Antirrheoskop nennt und mit dem man die Erscheinung jederzeit beobachten kann. Derselbe besteht aus fünf parallel neben einander liegenden Walzen von $2\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser und $2\frac{1}{2}$ Fufs Länge, welche durch eine gröfsere Rolle alle nach derselben Richtung in Umdrehung gesetzt werden können. Jede Walze ist mit weifsem Papier überzogen, auf dem je zwei schwarze Spiralen von je $2\frac{1}{2}$ Windungen gezeichnet sind. Jede Spirale besteht wiederum aus einem breiten mittleren schwarzen Streifen von $1\frac{1}{2}$ Zoll Breite, neben dem in einer Entfernung von je einem halben Zoll zwei schmälere schwarze Streifen von einem halben Zoll Breite hergehen. Das weifse Band zwischen dem schwarzen Streifen der einen und der nächstbenachbarten Spiralwindung hat dann wieder $1\frac{1}{2}$ Zoll Breite, so dafs Weifs und Schwarz symmetrisch vertheilt sind. Wird nun die gröfsere Scheibe, deren Rand mit Reibung an den Enden der Walzen schleift, gedreht, so drehen sich alle Walzen in gleichem Sinne, die mittleren mit etwas gröfserer Geschwindigkeit als die äufseren, um die ungleiche Bewegung des Wassers im Flusse nachzuahmen. Die Spiralbänder scheinen dann mit gleichförmiger Geschwindigkeit sich der Länge der Walzen parallel zu verschieben, und wenn der Beobachter eine Zeit lang auf die scheinbar bewegten Bänder hingeblickt hat und nun auf ruhige Objecte sieht, scheinen diese rückwärts zu gehen.

Herr Oppel hat vor den Walzen auch noch ein Gesichtszeichen befestigt, um den Blick fixirt zu halten. Da aber bei fester Fixation dieses Zeichens, wie es scheint, der Versuch ihm oft mifslungen ist, und er glaubte, dafs feste Fixation zur Erzeugung des Schwindels nöthig und dafs die feste Fixation nur durch den Anblick der bewegten Masse gehindert sei, so hat er als Fixationszeichen ein rautenförmiges Holztäfelchen von $\frac{1}{2}$ Zoll Breite und $\frac{3}{4}$ Zoll Höhe angewendet, welches selbst langsam durch die Mechanik des Instrumentes gedreht wurde und dem Beschauer bald die eine, bald die andere Seite zukehrte. Hiermit gelangen die Versuche, weil, wie ich selbst meine, durch diese
620 Einrichtung dauernde feste Fixation ein und desselben festen Punktes unmöglich gemacht war, da jeder Punkt des Holztäfelchens, den man etwa hätte fixiren wollen, abwechselnd schwand und wieder zum Vorschein kam. Ich selbst mufs nach meinen Versuchen gerade das Entgegengesetzte von Oppel behaupten, nähmlich, dafs bei ganz strenger Fixirung des Blicks der Schwindel nicht zu Stande kommt, sondern nur durch die unwillkürlichen und meist unbewufsten kleinen Bewegungen, mittels deren wir den bewegten Körpern folgen. Darin aber hat Oppel Recht, dafs gröfsere willkürliche Bewegungen des Auges, mit denen wir bewufster Weise eine längere Strecke hindurch dem bewegten Körper folgen, der Täuschung hinderlich sind.

**Historisches.** Dafs man die Objecte aufrecht sieht, ohngeachtet ihre Netzhautbilder verkehrt sind, schrieb KEPLER[1] der Seele zu, welche den Eindruck auf einen untern Theil der Netzhaut sich so vorstellen soll, als wenn er von den Strahlen eines höheren Punktes der Sache entstände. Ebenso SCHEINER.[2] PRIESTLEY[3] leitet diese Eigenthümlichkeit der Gesichtsvorstellungen aus der Vergleichung mit dem Tastsinn her. DESCARTES[4] erläutert die natürliche Methode, die Gröfse, Lage und Entfernung der Gegenstände aus der Richtung der Augenaxen zu beurtheilen, indem er sie vergleicht mit der Art, wie ein Blinder von der Gröfse und Entfernung einer Sache vermittels zweier Stäbe, selbst von unbekannter Länge, urtheilt, wenn seine Hände, worin er die Stäbe hält, in einer bekannten Entfernung und Lage gegen einander sind. Uebrigens veranlafste die Frage wegen des Aufrechtsehens der Objecte eine grofse Menge von Schriften.[5]

KEPLER[6] fand auch schon die richtige Regel für die scheinbare Lage der durch brechende oder spiegelnde Instrumente gesehenen Objecte, indem er sie in den Convergenzpunkt der in das Auge tretenden Strahlen verlegte. Die Schwierigkeiten, welche später zu vielfachen Discussionen über diesen Punkt führten, betrafen nicht sowohl die Richtung, in der das Object gesehen wurde, als vielmehr seine Entfernung, wovon im folgenden Abschnitt zu sprechen sein wird.

PORTERFIELD[7] glaubte, dafs wir vermöge einer ursprünglichen Einrichtung unserer Natur die Gegenstände irgendwo in der geraden Linie sehen, die senkrecht auf die Netzhaut an der Stelle, wohin das Bild fällt, gezogen wird. Dieselbe Annahme wurde auch von D'ALEMBERT,[8] BARTELS[9] und vielen Anderen festgehalten. VOLKMANN[10] hat für die Normalen der Netzhaut die Richtungslinien gesetzt, welches nach der auf S. 91 gegebenen Definition die durch das Netzhautbild und den (hintern) Knotenpunkt des Auges gezogenen Linien sind. Diese Linien sind in der That die richtigen, um objectiv bei physikalischen Untersuchungen den leuchtenden Punkt zu finden, wenn der Ort des Netzhautbildes in dem gut accommodirten Auge und dessen Stellung vollständig gegeben sind. So spielen also die Richtungslinien eine wichtige Rolle in der physiologischen Optik, namentlich, wo es sich darum handelt, zu ermitteln, mit den Bildern welcher äufseren Objecte irgend welche Erregungen der Netzhaut durch Licht oder durch innere Reize sich decken. So weit wir also den Ort der gesehenen Gegenstände objectiv richtig beurtheilen, so weit ist VOLKMANN's Darstellungsweise im Recht. Eine solche richtige Beurtheilung trifft aber fast nur zu für die direct mit beiden Augen gesehenen Punkte und selbst für diese nicht immer. Alle indirect gesehenen Punkte verlegen wir in falsche Richtungen, indem wir den Winkel zwischen ihrer Richtungslinie und der Blicklinie zu klein nehmen, wie der vorige Paragraph gelehrt hat, und so oft wir die Augen convergiren lassen und auf nähere Objecte richten, beurtheilen wir die Richtungen der gesehenen Objecte falsch, wie die oben beschriebenen Versuche lehren. Eine Hauptschwierigkeit der Theorie von VOLKMANN ist die Erklärung der binocularen Doppelbilder, wie HERING[11] richtig bemerkt 621
hat. Wir können also die Theorie von VOLKMANN nicht als ein angeborenes und elementares Gesetz auffassen, welches an und für sich schon die Richtung des Gesehenen

[1] KEPLER, *Paralipomena*, p. 169. — SMITH, *Opticks. Rem.*, p. 4.
[2] SCHEINER, *Oculus*, p. 192.
[3] PRIESTLEY, *Geschichte der Optik*, übersetzt von KLÜGEL, Leipzig 1776, S. 69.
[4] DESCARTES, *Dioptrice*, p. 68 und *De homine*, p. 66.
[5] KAESTNER im *Hamburger Magazin*, VIII, St. 4, Art. 8—IX, St. 1, Art. 4. — LICHTENBERG in *Erxleben's Naturlehre*, 6. Aufl., S. 328. — RUDOLPHI, *Physiologie*, II, 227. — L. FICK in *Müller's Archiv für Anatomie*, 1854, S. 220. — Noch andere unten im Literaturverzeichnifs.
[6] KEPLER, *Paralipomena*, p. 285 und p. 69—70.
[7] PORTERFIELD, *On the eye*, II, 285.
[8] D'ALEMBERT, *Opuscula mathem.*, I, p. 26.
[9] BARTELS, *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes*, Berlin 1834.
[10] VOLKMANN, *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes*, Leipzig 1836, und Artikel Sehen in *R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie*. — S. auch MILE, über Richtungslinien des Sehens, *Poggendorff's Annalen*, XLII, 245, und *Müller's Archiv für Anatomie*, 1838, S. 387.
[11] E. HERING, *Beiträge zur Physiologie*. Leipzig 1861. S. 25—64.

[illegible]

[illegible]

## § [illegible] [illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

bald mehr, bald weniger genau. Wir haben also zu untersuchen, auf welche 623
Weise wir zur Kenntnifs der Abstände der gesehenen Objecte vor unserem Auge kommen.

Hierbei sind zweierlei Hilfsmittel zu trennen, die einen gehören der Erfahrung über die besondere Natur der gesehenen Objecte an und geben also nur Vorstellungen des Abstandes, die andern gehören der Empfindung an und geben eine wirkliche Wahrnehmung des Abstandes. Zu diesen letzteren gehören: 1) das Gefühl der nothwendigen Accommodationsanstrengung, 2) die Beobachtung bei bewegtem Kopf und Körper, 3) der gleichzeitige Gebrauch beider Augen.

Ehe wir untersuchen, wann und wieviel diese letztgenannten Hilfsmittel der Wahrnehmung leisten, wird es nöthig sein die aus der Erfahrung genommenen Momente zu untersuchen, um abscheiden zu können, was diesen angehört. Diesen gehört alles an, was wir zu unterscheiden wissen in Bezug auf die Tiefendimensionen des Gesichtsfeldes mit einem Auge, bei unbewegtem Kopfe, an Gegenständen, die weit genug entfernt oder so verwaschen gezeichnet sind, dafs keine deutlich fühlbare Accommodationsanstrengung für ihre Betrachtung stattfindet. Es kommt hierbei in Betrach- erstens die mitgebrachte Kenntnifs der Gröfse der gesehenen Objecte, dann die ihrer Form, ferner die Vertheilung des Schattens, endlich die Trübung der vor ihnen liegenden Luft.

Derselbe Gegenstand aus verschiedener Entfernung gesehen giebt verschieden grofse Netzhautbilder und erscheint unter verschiedenen Gesichtswinkeln. Je entfernter er ist, desto kleiner der Gesichtswinkel, unter dem er erscheint. Wie also die Astronomen aus der Messung der wechselnden Gesichtswinkel, unter denen uns Sonne und Mond erscheinen, die Aenderungen in der Entfernung dieser Gestirne berechnen können, so können wir aus dem Gesichtswinkel, oder was dem entspricht, aus der Gröfse des Netzhautbildchens eines gesehenen Gegenstandes von bekannter Gröfse, eines Menschen zum Beispiel, die Entfernung schätzen, in der er sich von uns befindet. Es sind namentlich Menschen und Hausthiere, welche in dieser Beziehung werthvolle Merkzeichen in der Landschaft bilden, weil sie durch ihre Bewegung leicht erkennbar sind, nur wenig in der Gröfse wechseln und ihre Gröfse uns sehr gut bekannt ist. Namentlich Militärpersonen pflegen gut geübt zu sein, auf den Abstand entfernter Truppenmassen auf unbekanntem Terrain in dieser Weise richtig zu schliefsen, so wie man denn auch zu militärischen Zwecken verschiedene kleine optische Apparate eingerichtet hat, mit denen man den Gesichtswinkel für die Höhe eines entfernten Mannes messen und danach seine Entfernung ablesen kann. Häuser, Bäume und Culturpflanzen dienen demselben Zwecke weniger sicher, wegen ihrer weniger constanten Gröfse, wobei denn auch gelegentlich starke Irrthümer unterlaufen. Ein Bewohner der Ebene hält Weinberge leicht für Kartoffelfelder, oder Tannen auf fernen hohen Bergen für Heidekraut, und schätzt danach die Entfernungen

und Gröſsen der Berge zu klein. Aus derselben Rücksicht brauchen die Maler Staffage von Menschen und Vieh in Landschaften, um die Gröſse der dargestellten Dinge einigermaaſsen kenntlich zu machen.

Damit hängt nun auch noch zusammen, daſs dieselben Objecte, wie der Mond oder ferne Berge, wenn wir sie wegen trüberer Luft oder aus anderen
624 Gründen für ferner halten, uns gleichzeitig auch immer in demselben Maaſse an Gröſse zu wachsen scheinen. Ferner die Erfahrung, daſs ferne Theile der Landschaft, durch ein vergröſserndes Fernrohr gesehen, dem Beschauer in der Regel nicht vergröſsert, sondern nur genähert erscheinen, und er sich erst durch Oeffnen des anderen Auges davon überzeugen muſs, daſs die Bilder auch vergröſsert sind.

Da übrigens diese Beziehung zwischen Entfernung und Gröſse erst durch lange Erfahrung erlernt werden muſs, wird es nicht auffallen können, daſs Kinder hierin ziemlich ungeübt sind und leicht grobe Irrthümer machen. Ich selbst entsinne mich noch, daſs ich als Kind an einem Kirchthurm (der Garnisonkirche zu Potsdam) vorübergegangen bin und auf dessen Gallerie Menschen sah, die ich für Püppchen hielt, und daſs ich meine Mutter bat sie mir herunterzulangen, was, wie ich damals glaubte, sie können würde, wenn sie den Arm ausstreckte. Der Zug hat sich meinem Gedächtnisse eingeprägt, weil mir an meinem Irrthum das Gesetz der perspectivischen Verkleinerung deutlich wurde.

Zur Kenntniſs der Gröſse kommt ferner in sehr vielen Fällen die Kenntniſs der Form der gesehenen Objecte, namentlich in solchen Fällen, wo das eine zum Theil vom andern gedeckt wird. Wenn wir zum Beispiel in der Entfernung zwei Hügel sehen, von denen der eine mit seiner Basis sich vor den andern vorschiebt und den letzteren zum Theil verdeckt, so schlieſsen wir daraus unmittelbar, daſs der deckende vor dem gedeckten liegt; denn wenn dies nicht der Fall wäre, so müſste der andere einen überstehenden Theil und eine nach unten sehende Begrenzungsfläche haben, wie sie an Hügeln nie vorkommt, und auſserdem müſste der Zufall es mit sich bringen, daſs diese überhängende Grenzlinie desselben gerade in der Contourlinie des anderen Hügels, wo dieser nicht deckt, ihre Fortsetzung fände. Es wäre dies eine an sich mögliche Auslegung des gesehenen Bildes, die aber aller Erfahrung widerspräche. Dasselbe kann natürlich bei allen möglichen Arten von Gegenständen vorkommen, die sich theilweis decken. Selbst wenn uns ihre Gestalt noch durchaus unbekannt ist, wird in den meisten Fällen der Umstand, daſs die Contourlinie des deckenden Objects, wo sie über die Contourlinie des bedeckten hingeht, ihre Richtung nicht ändert, entscheidend sein, um den deckenden von dem gedeckten Gegenstande zu unterscheiden. Man kann auch leicht Täuschungen hervorbringen, wenn man absichtlich ein deckendes Papierblatt so hält, daſs es eine Ecke darbietet, wo es mit dem theilweis gedeckten zusammenstöſst, an letzterem aber die Contour in derselben Richtung fortläuft.

Am auffallendsten sind die Täuschungen, die auf diesem Principe

beruhen, an spiegelnden und brechenden Flächen, die vor ihrer dem Beobachter zugekehrten Seite ein reelles optisches Bild entwerfen. Die meisten Personen überzeugen sich nur schwer davon, dafs dieses Bild vor dem Spiegel in der Luft liegt; denn sie sehen Lücken im Bilde, wo der Spiegel ein Fleckchen hat, sie sehen das Bild begrenzt durch den Rand des Spiegels, sie sehen überhaupt alle kleinen Unregelmäfsigkeiten des Spiegelbelegs ungetrübt durch das Bild hindurch. Das Bild erscheint durchaus als der bedeckte, also hintere Gegenstand, während es in der That der vordere ist. Ja selbst, wenn man mit Hilfe des zweiäugigen Sehens, der Kopfbewegungen und der 625
Accommodation sinnliche Momente in das Spiel bringt, welche die Wahrnehmung des Bildes an seinem richtigen Orte unzweideutig feststellen könnten, ist es nicht immer ganz leicht, sich von der Täuschung frei zu machen. Das beste Mittel ist noch, dafs man in der Ebene des Bildes einen Schirm anbringt mit einem Ausschnitt, in dem das Bild erscheint, während der Rand der spiegelnden oder brechenden Fläche, die es entwirft, dadurch verdeckt wird. Dann sieht der Beobachter leicht, dafs das Bild in der Ebene des Schirmes liegt.[1]

Es gehört hierher ferner auch die Erfahrung, dafs subjective Gesichtserscheinungen bei geöffneten Augen immer auf die Fläche der im Gesichtsfelde sichtbaren körperlichen Objecte projicirt erscheinen. Da sie bei Bewegungen des Auges sich mitbewegen, werden sie gleich als subjective Erscheinungen von den objectiven getrennt, und es wird ihnen keine Realität zugeschrieben, sondern sie erscheinen nur als Flecken auf den reellen Objecten, wenn die Aufmerksamkeit ihnen überhaupt zugewendet wird. Dies geschieht in der Regel sogar dann, wenn binoculare Nachbilder in beiden Augen entwickelt sind, welche die Wahrnehmung einer bestimmten Localisation im Raume möglich machen würden. Auch solche ist man meist geneigt auf die gesehenen reellen Objecte zu projiciren, statt eine stereoskopische Raumanschauung von ihnen auszubilden, und nur bei besonders darauf gerichteter Aufmerksamkeit gelingt das letztere.

In vielen Fällen genügt es zu wissen oder zu vermuthen, dafs der gesehene Gegenstand eine Form von gewisser Regelmäfsigkeit hat, um sein perspectivisches Bild, wie es uns entweder das Auge oder eine künstlich gefertigte Zeichnung zeigt, richtig als Körperform zu deuten.[2] Wenn ein Haus, ein Tisch oder andere von Menschen gefertigte Gegenstände dargestellt sind, dürfen wir voraussetzen, dafs deren Winkel rechte sind und deren Flächen Ebenen oder cylindrische und kugelige Flächen. Das genügt, um nach einer richtigen perspectivischen Zeichnung sich richtige Anschauungen des Objects zu bilden. Eine perspectivische Zeichnung eines Hauses oder eines physikalischen Apparates verstehen wir ohne Schwierigkeit, selbst wenn sie recht verwickelte Verhältnisse darstellt. Ist sie gut schattirt, so wird der Ueberblick noch leichter. Aber die vollkommenste Zeichnung oder

[1] Darüber siehe Dove in *Poggendorff's Annalen* LXXXV.
[2] Recklinghausen im *Archiv für Ophthalmologie* V, 2, S. 163

selbst Photographie eines Meteorsteines, eines Eisklumpens, mancher anatomischen Präparate und ähnlicher unregelmäfsiger Gegenstände giebt kaum ein Bild ihrer körperlichen Form. Namentlich Photographien von Landschaften, Felsen, Gletschern bieten dem Auge oft nichts als ein halbverständliches Gewirr grauer Flecken, während dieselben Photographien bei passender stereoskopischer Combination die allerschlagendste Naturwahrheit wiedergeben.

Wenn dergleichen regelmäfsig gebildete Producte menschlichen Kunstfleifses, deren Grundformen rechtwinkelige Parallelepipede, Cylinder und Kugelflächen sind, aus der Nähe betrachtet werden, so dafs die vorderen Theile in einem deutlich gröfseren Maafsstabe auf der Netzhaut sich abbilden
626 als die hinteren, so läfst eine richtige perspectivische Abbildung derselben meist nur eine Deutung zu, und wir kommen nicht in Verlegenheit zu erkennen, welches die vorderen, welches die hinteren Theile sind. Werden sie aus grofser Ferne gesehen, oder sind sie sehr flach im Relief, so kann es aber zweifelhaft werden, wie sie zu deuten sind. Dahin gehört die von Sinsteden[1] an einer Windmühle gemachte Beobachtung, die sich des Abends gegen den hellen Himmel projicirte, so dafs sie nur wie in einer Silhouette halb von der Seite erschien, als gleichmäfsig dunkles Object auf hellem Grunde, und nur ihre Umrifslinie sichtbar war. Er beobachtete nähmlich, dafs die Flügel der Mühle bald in der einen, bald in der andern Richtung herumzugehen schienen. Bei einem solchen Anblicke bleibt es nähmlich unentschieden, ob die Frontseite der Mühle, welche die Flügel trägt, oder die Rückseite dem Beobachter zugekehrt ist, und ob er also die Flügel selbst schräg von vorn oder von hinten sieht. Sähe er sie von vorn, so würde die perspectivisch der Mühle zugekehrte Seite der Flügel ihm die nähere sein; sähe er sie von hinten, so würde diese ihm die fernere sein. Je nachdem er die eine oder andere Auslegung wählt, scheint die ihm zugekehrte Seite der Flügel bei der Drehung aufzusteigen oder abzusteigen, und er erhält also beim Wechsel der Deutung des Bildes auch eine scheinbar umgekehrte Bewegung der Flügel. Ob man nun in die eine oder andere Deutung der Erscheinung verfällt, hängt zunächst scheinbar vom Zufall ab. Auch lassen sich die Gründe, warum die Erscheinung oft plötzlich wechselt, nicht immer ermitteln; dagegen kann man auch willkürlich den Wechsel herbeiführen, nähmlich dadurch, dafs man sich das entgegengesetzte Verhalten der Mühle lebhaft vorstellt. So wie man dann den sinnlichen Eindruck als vollkommen übereinstimmend mit dieser Vorstellung wahrnimmt, tritt die Vorstellung als sinnliches Anschauungsbild ein.

Es gehört hierher auch folgende von Schroeder[2] angegebene Figur, welche ohne Schattirung in *Fig. 229* wiedergegeben ist. Dieselbe wird zuerst und am leichtesten als die geometrische Projection einer Treppe auf-

---

[1] Sinsteden, *Poggendorff's Annalen* CXI, 336—339. Mohr, ebenda 638—642.
[2] Schröder, *Poggendorff's Annalen* CV, 298.

gefafst werden, so dafs die mit *a* bezeichnete Fläche dem Beschauer näher ist, als die mit *b* bezeichnete, welche letztere die Wand darstellt, an die die Treppe sich anlehnt. Sie kann aber auch so aufgefafst werden, als sähe man ein überhängendes Mauerstück *b*, welches nach unten und links treppenförmig endet, so dafs die Fläche *b* näher, *a* ferner wäre und der Beobachter von unten und links her nach der treppenförmigen Fläche schaut. Die erstere Deutung ist uns die geläufigere, und sie tritt deshalb meist zuerst ein, doch schlägt sie auch leicht und ohne bestimmt zu bezeichnenden Grund in die zweite um. So 627 wie ich mir aber lebhaft die eine oder andere Körperform vorstelle, so tritt auch sogleich die Auschauung derselben an der Figur hervor. Gelingt es nicht von selbst aus der ersten Anschauung in die zweite überzugehen, so kann man das, wie SCHROEDER bemerkt, dadurch bewirken, dafs man das Buch langsam umdreht, bis das untere Ende desselben nach oben gekehrt ist, und während der ganzen Zeit die Figur betrachtet. Dann bleibt die Fläche *a*, die einmal dem Beschauer näher vorgestellt wird, ihm fortdauernd die nähere, und nach einer Drehung um 180° hat man genau dieselbe Figur wieder, wie im Anfang, nur dafs die Buchstaben *a* und *b* ihre Lage vertauscht haben, und dafs nur scheinbar die rechts oben gelegene senkrechte Fläche die nähere geworden ist. Bei SCHROEDER ist dieselbe Figur in zweierlei Weise schattirt, was den Erfolg weiter nicht verändert.

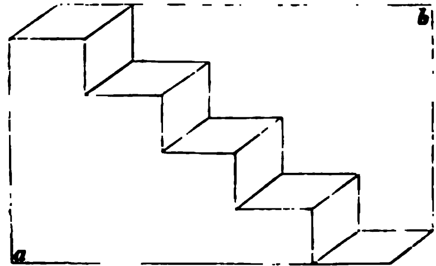


Fig. 229.

Aehnliches kann man an einer grofsen Zahl perspectivischer Linienzeichnungen, zum Beispiel solchen, welche regelmäfsige Körper, Krystallmodelle u. s. w. in geometrischer Projection (also wie von einem unendlich entfernten Punkte aus gesehen) darstellen, beobachten. Dieselbe Ecke oder Kante kann bald einspringend, bald ausspringend erscheinen. Oft wechselt die Vorstellung unwillkürlich. Ich finde aber, dafs man sie auch immer willkürlich wechseln lassen kann, wenn man lebhaft eine andere Deutung sich vorstellt.

Es schliefsen sich hieran die Beobachtungen über die scheinbare Umkehrung des Reliefs von Matritzen für Medaillen, wobei indessen auch die Beschattung einen Einflufs ausübt. Wenn man von einer Medaille, welche in ziemlich flachem Relief geschnitten ist, einen Abgufs in Gyps oder Stearin macht, der also eine Matritze darstellt, an der alle convexen Krümmungen des Originals concav, alle hervorragenden Theile vertieft erscheinen, und man diese Matritze so legt, dafs sie von schräg überfallendem Tageslicht beleuchtet wird, und also kräftig schattirt erscheint, so glaubt man, mit einem Auge danach hinsehend, sehr leicht eine Patritze zu sehen von der

ursprünglichen Form der Medaille. Sieht man mit beiden Augen gleichzeitig nach der Matritze hin, so schwindet in der Regel die Täuschung; ebenso wenn man den Kopf oder die Form hin- und herbewegt. Je ruhiger Auge und Object sind, desto leichter tritt die Täuschung ein. Namentlich ist sie unter den angegebenen Umständen fast unvermeidlich, wie SCHROEDER besonders hervorgehoben hat, wenn das Relief einen menschlichen Kopf oder Körper, oder auch thierische Formen, Blätter und dergleichen darstellt. Bei bloſsen Buchstaben und Ornamenten bleibt die Täuschung viel leichter aus.

Dabei tritt nun eine eigenthümliche Täuschung auch betreffs der Beleuchtung ein. Eine Hohlform nämlich zeigt die Schatten an der dem Fenster zugekehrten Seite, die Lichter an der abgekehrten; eine erhabene Form umgekehrt.

Wenn uns daher die Matritze als Patritze erscheint, so erscheint sie auch gleichzeitig von der dem Fenster entgegengesetzten Seite her beleuchtet zu sein. Dazu kommt nun noch, daſs eine so schräg beleuchtete erhabene Form einen merklichen Schlagschatten auf den ebenen Grund werfen müſste, welcher Schlagschatten natürlich an der verkehrt gesehenen Matritze fehlt. Dadurch entsteht, wie SCHROEDER es nennt, eine Art magischer Beleuchtung
626 des Reliefs, die gleichsam aus dem Innern zu kommen scheint. Die Ursache davon scheint mir zu sein, daſs der Schlagschatten auf dem ebenen Grunde fehlt, und daher dieser Grund wie transparent beleuchtet erscheint.

Man kann übrigens, wie schon RITTENHOUSE und nach ihm viele Andere bemerkten, die Täuschung erhöhen und erleichtern dadurch, daſs man auch die Beleuchtung der Matritze umkehrt. Entweder, wie OPPEL in seinem **Anaglyptoskop**[1] gethan hat, dadurch, daſs man das Licht des Fensters durch einen Schirm abhält und dafür einen Spiegel an der entgegengesetzten Seite anbringt, den der Beobachter nicht bemerkt; dann erscheint die scheinbare Patritze vom Fenster her beleuchtet zu sein. Oder man kann die Matritze durch ein spiegelndes rechtwinkeliges Prisma betrachten oder durch eine Linse, die ein umgekehrtes Bild von ihr entwirft. In allen diesen Fällen erscheint die Beleuchtung richtig, obgleich sie immer etwas fremdartiges durch den fehlenden Schlagschatten behält, namentlich, wenn das Relief sehr stark ist. Die Beobachtung durch eine umkehrende Linse trennt auſserdem für den Beobachter die Form aus ihrer übrigen Umgebung los und erfordert eine unveränderliche Lage des Auges, weil das Bild der Medaille sonst von der Grenze der Linse verdeckt wird. Alle diese Umstände begünstigen die Täuschung. Daher ist es wohl zu erklären, daſs man sie bei solchen umgekehrten von Linsen und Spiegeln entworfenen Bildern zuerst wahrgenommen hat.

Daſs es im Ganzen viel seltener gelingt, Patritzen als scheinbare Matritzen zu sehen, scheint nur davon herzurühren, daſs jene gewöhnlich einige Schlagschatten zeigen, welche die Deutung der convexen als eine hohle Form unmöglich machen.

---

[1] OPPEL, *Poggendorff's Annalen* XCIX, 466—469.

Eine eigenthümliche hierher gehörige Täuschung beschreibt D. Brewster.[1] Fufsstapfen im Sande erschienen ihm erhöht. Es zeigte sich, dafs der Wind helleren Sand hineingeweht und an einem Rande aufgehäuft hatte, so dafs dieser Rand scheinbar stärker beleuchtet erschien. Auch der Mond, bei Tage durch ein umkehrendes Fernrohr betrachtet, erscheint, wie Schweizer bemerkt, zuweilen in verkehrtem Relief.

Schroeder macht noch auf einige andere Täuschungen ähnlicher Art aufmerksam. Wenn wir ein rechteckiges Streifchen Papier auf eine horizontale Tischplatte legen und schräg von oben her mit einer umkehrenden Linse besehen, so sollte bei richtiger Umkehrung der obere Rand des Bildes vom Papier und der Tischplatte dem Beobachter näher erscheinen, der untere ferner. Der Regel nach verhält es sich umgekehrt, wir glauben vielmehr den Tisch und das Papier in ihrer wirklichen Richtung zu sehen, und wenn eine feine Nadel schräg in das Papier eingestochen wird, von der eine passend gestellte Lampenflamme einen scharf begrenzten Schlagschatten wirft, so erscheint uns vermöge derselben Umkehrung oft das Bild des Schattens als das der Nadel und umgekehrt. Brewster bemerkt, dafs bei dieser Art der Täuschung ein in die Ebene eingeschnittenes Intaglio wegen der Umkehrung leicht als Relief hervortritt, weil man die nähere Seite desselben für die entferntere hält.

Von noch gröfserer Wichtigkeit, als die verschiedenartige Beleuchtung 629
der Flächen eines Körpers je nach ihrer Neigung gegen die einfallenden Strahlen, sind die Schlagschatten. Wenn wir eine erleuchtete Fläche sehen, so mufs sich der leuchtende Körper *vor* dieser Fläche befinden, und wenn ein Schlagschatten auf sie fällt, so mufs sich der Schatten werfende Körper ebenfalls *vor* der Fläche befinden, die den Schatten empfängt. (Vor und hinter ist hier in Beziehung auf die Fläche zu nehmen, nicht in Beziehung auf die Stellung des Beobachters.) Dadurch ist also eine gewisse geometrische Beziehung des Schatten werfenden Körpers zur beschatteten Fläche unzweideutig festgestellt. Eine wie entscheidende Rolle die Schlagschatten in der Deutung der Gesichtserscheinungen spielen, werden wir später bei den pseudoskopischen Erscheinungen noch ersehen. Auch ist allgemein bekannt, eine wieviel deutlichere Vorstellung eine gut schattirte Zeichnung von einem Gegenstande giebt, als eine, die blos seine Umrisse darstellt; wie viel vortheilhafter für eine Landschaft, namentlich wenn man sie aus der Höhe sieht, die Beleuchtung des Sonnenaufgangs und Sonnenuntergangs ist, als die der hochstehenden Sonne. Es kommen hier nicht blos die reicheren Farben in Betracht, welche die tief stehende Sonne giebt, sondern auch namentlich die bessere Modellirung der Formen des Terrains, welche durch die reichere Schattirung entsteht. Im Allgemeinen sind ja wenige Abhänge so steil, dafs sie bei hoch stehender Sonne nicht beleuchtet wären. In der Mittagsbeleuchtung ist daher mit wenigen Ausnahmen alles hell und

[1] D. Brewster, *Athenaeum* 1860, 2, p. 24; *Rep. of Brit. Assoc.* 1860, 2 p. 7–8.

wenig Schatten vorhanden; die Formen der Berge und Thäler, wo sie nicht sehr schroff sind, sind deshalb wenig deutlich. Wenn dagegen die Sonne schräg steht und viele Abwechselung von Licht und Schatten giebt, so wird alles viel deutlicher und verständlicher.

Ein weiteres von der Beleuchtung hergenommenes Moment für die Beurtheilung der Entfernung namentlich entfernterer Gegenstände giebt die sogenannte Luftperspective. Wir verstehen darunter die Trübung und Farbenveränderung des Bildes ferner Objecte, welche durch die unvollkommene Durchsichtigkeit der vor ihnen liegenden Luftschicht bewirkt wird. Die Luft, wenn sie schwach mit Wassernebel gefüllt ist, wie es in ihren tieferen Schichten, namentlich in der Nähe grofser Wasserflächen, gewöhnlich der Fall ist, wirkt wie ein trübes Medium, welches beleuchtet vor dunklem Hintergrunde selbst bläulich erscheint, eindringendes Licht heller Objecte aber mit röthlicher Farbe durchläfst. Je dicker die Luftschicht zwischen dem Auge des Beobachters und dem fernen Objecte ist, desto stärker wird dessen Farbe verändert, entweder in das Bläuliche, wenn es dunkler, oder in das Röthliche, wenn es heller als die vorliegende Luftschicht ist. So erscheinen ferne Berge blau, die untergehende Sonne roth.

Den Einflufs, den die Luftperspective auf unser Urtheil ausübt, können wir leicht bemerken, wenn die Luft ungewöhnlich klar oder ungewöhnlich trüb ist. Im ersteren Falle erscheinen ferne Bergreihen sehr viel näher und kleiner, im zweiten ferner und gröfser als gewöhnlich. Für den Bewohner der Ebene beruht darauf eine gewöhnliche Art der Täuschung, wenn er in das Hochgebirge kommt. In der Ebene, namentlich in der Nähe
630 grofser Wasserflächen, ist die Luft gewöhnlich trüb, im Hochgebirge gewöhnlich aufserordentlich durchsichtig. So erscheinen denn dem Reisenden entfernte Berggipfel, namentlich wenn sie mit Schnee bedeckt im Sonnenschein glänzen, so klar, wie er sonst nur nahe Gegenstände gesehen hat, und er schätzt deshalb im Allgemeinen alle Distanzen und Höhen viel zu klein, bis er, ihre Dimensionen selbst durchmessend, durch Anstrengung und Erfahrung eines Bessern belehrt wird.

Hierher gehört auch die berühmte Frage, warum der Mond nahe dem Horizonte gröfser aussieht, als wenn er hoch am Himmel steht, trotzdem er wegen der atmosphärischen Strahlenbrechung im verticalen Durchmesser dort eigentlich kleiner aussehen sollte. Dafs er am Horizonte gröfser erscheint, weil er uns dort weiter entfernt erscheint, haben schon Ptolemaeus und die arabischen Astronomen[1] richtig gewufst. Die eigentliche Frage ist also, warum erscheint uns das Himmelsgewölbe am Horizonte entfernter als im Zenith. Es sind eine Menge Motive dafür angeführt worden, warum dies so sei; ich glaube auch, dafs nicht nur eines, sondern viele verschiedene Motive dahin zusammenwirken, wobei freilich schwer auszumitteln ist, welches das überwiegende in jedem einzelnen Falle sei.

---

[1] Montucla *Histoire des Mathém.* Vol. I, p. 309 u. 352. — Rogeri Baconis *Perspect.*, p. 118. — Porta, *De refractione*, p. 24, 128. — Priestley, *Geschichte der Optik*. Periode 6, Kap. 8.

Zunächst ist zu bedenken, dafs kein entscheidender Grund da ist, warum der Sternenhimmel uns als eine regelmäfsige Kugelfläche erscheinen sollte. Er zeigt unendlich entfernte Objecte; daraus folgt nur, dafs er als irgend welche Fläche von unbestimmter Form erscheinen kann, wenn irgend welche andere Motive ihm eine solche zuweisen. Wenn wir im leeren Raume schwebten und den Sternenhimmel gleichzeitig und gleichmäfsig in seiner ganzen Ausdehnung überschauen könnten, oder wenn seine Bewegung so schnell wäre, dafs wir eine wirkliche sinnliche Anschauung davon erhalten könnten, möchte mehr Grund sein, ihn gerade als Kugelfläche anzuschauen. So aber ist in der That seine scheinbare Richtung und Gestalt eine sehr wechselnde, je nachdem das Stück, was wir von ihm sehen, von verschiedenen irdischen Gegenständen eingefafst ist, und wir einen höheren oder tieferen Punkt fixiren. Wir werden später noch sehen, dafs wir eine Neigung haben, ihn bei ruhiger binocularer Fixation eines Punktes für eine auf die jedesmaligen Blicklinien senkrechte Ebene zu halten.

Ganz anders ist es mit dem Wolkenhimmel. Die Wolken sind meistens zwar auch weit genug von uns entfernt, dafs wir mittels der Erkennungsmittel, welche das zweiäugige Sehen und die Bewegung unseres Körpers uns gewähren, nichts oder so gut wie nichts über ihre Entfernung ausmachen können. Aber sie sind oft parallelstreifig, sie bewegen sich meistens in gleicher Richtung und mit constanter Geschwindigkeit über das Himmelsgewölbe hin, sie erscheinen in der Nähe des Horizontes strichförmig, von der hohen Kante gesehen und so beleuchtet, dafs man sie als perspectivisch verkürzte horizontal gedehnte Körper erkennen kann. Alles das kann dazu dienen, uns erkennen zu machen, dafs die wahre Form des Wolkenhimmels wenigstens im Zenith ein sehr plattes Gewölbe ist. Am Horizont freilich verlassen uns diese Hilfsmittel, und da erscheinen dann die Wolken wie die 631
Berge gleichmäfsig auf eine von unten nach oben ansteigende und allmählig sowohl in den Erdboden, wie in das Himmelsgewölbe übergehende Fläche gemalt zu sein. Da wir nun kein Mittel der sinnlichen Anschauung haben, um die Entfernung des Wolkenhimmels von der des Sternenhimmels zu trennen, so scheint es nur natürlich, dafs wir dem letzteren die wirkliche Form des ersteren, so weit wir sie unterscheiden können, mit zuschreiben, und dafs auf diese Weise die doch immer sehr vage, unbestimmte und veränderliche Vorstellung von der flach kuppelförmigen Wölbung des Himmels entsteht.

Recht entschieden und überraschend tritt übrigens die Vergröfserung des Mondes oder der Sonne nur dann auf, wenn die Luft am Horizont recht dunstig ist und die genannten Himmelskörper nur noch eine geringe Lichtstärke zeigen. Dann haben wir an ihnen dieselbe Wirkung wie an fernen Bergen, sie sehen viel entfernter als bei klarer Luft und deshalb gröfser aus. Auch verstärken passende irdische Objecte am Horizont die Wirkung sehr. Wenn der Mond zum Beispiel neben oder hinter einer etwa zwei tausend Fufs entfernten Baumkrone untergeht, welche selbst 20 Fufs Durch-

messer hat, so erscheint er unter demselben Gesichtswinkel, aber viel weiter entfernt, also auch viel gröfser als der Baum; während er hinter flachem Horizonte untergehend keinen Gegenstand zur Vergleichung findet, an dem wir erkennen könnten, dafs seine geringe scheinbare Gröfse einer sehr bedeutenden absoluten Gröfse entspricht.

Wenn man mittels einer planparallelen Glastafel ein Reflexbild des Mondes entwirft, welches scheinbar nahe am Horizonte gelegen ist, so finde ich nicht, dafs dasselbe entschieden gröfser aussieht, als der direct gesehene Mond oben am Himmel, obgleich man die scheinbare Gröfse des reflectirten Mondes dann leicht mit den gleichzeitig gesehenen irdischen Körpern vergleichen kann. Es fehlt aber dem Spiegelbilde das Aussehen, als sei es durch den dunstigen Theil der Atmosphäre gesehen.

Auch scheint mir, dafs die scheinbare Vergröfserung am Horizonte viel bemerklicher am Monde auftritt, als an der Sonne, die, wenn man ihre Gestalt überhaupt noch erkennen kann, gewöhnlich auch noch hell genug ist, dafs man sie nicht ganz bequem betrachten kann, und dafs sie also auch nicht unmittelbar mit den irdischen Objecten des Horizonts auf eine Linie gestellt werden kann. Bei recht klarem Himmel ist aber die Täuschung auch für den Mond nicht gerade sehr evident. Sie hängt immer in sehr hohem Grade vom Zustande der Atmosphäre ab.

Die bisher genannten Motive sind es allein, welche die Maler benutzen können, um durch flächenhafte Zeichnungen und Gemälde eine Vorstellung von den dargestellten körperlichen Objecten zu geben. Leichter ist ihre Aufgabe, wo es sich um Objecte von wohlbekannter oder von geometrisch regelmäfsiger Form handelt, ersteres namentlich bei menschlichen und thierischen Gestalten, letzteres bei Häusern, Geräthen und anderen Erzeugnissen menschlicher Kunstfertigkeit. Bei solchen ist eine richtige perspectivische Zeichnung schon meistens ausreichend und kann durch eine richtige Schattengebung sehr lebendig gemacht werden. In der Kunst der richtigen Schattengebung, welche die Körperform so sehr deutlich hervortreten läfst, sind bekanntlich die alten Meister des Portraitirens so ausgezeichnet gewesen. Ein [illegible] beleuchtetes, schwach beschattetes Gesicht, noch so richtig dargestellt, giebt einen lebhaften Eindruck niemals, so lange man die dargestellte Person noch [illegible] sieht, aber es verliert seine Lebendigkeit, wenn das nicht mehr geschieht. Schwieriger ist die Aufgabe des Malers, wenn er Naturgegenstände von unregelmäfsiger Form darzustellen hat, Landschaften, Berge, Felsen. Die Staffage mit Menschen, Thieren, Bäumen, Häusern giebt dann ein wichtiges äusserliches Hülfsmittel ab, um die Ausdehnung der dargestellten Objecte ungefähr zu bezeichnen. Luftperspective aber und Schatten sind die Hauptmittel. Daher ist nicht jede Beleuchtung einer Landschaft zur Darstellung geeignet. Ein gewisser Grad der Trübung der Luft und eine niedrig stehende Sonne, welche [illegible] Wechsel von Schatten und Licht hervorbringt, sind wesentliche Erfordernisse, um [illegible] die Formen der Landschaft deutlich werden zu lassen. [illegible]

den reicheren und mannigfacheren Färbungen, die auch ihre Schönheit erhöhen.

Die bisher beschriebenen Motive der Tiefenanschauung sind auch in psychologischer Beziehung interessant und wichtig, weil sie zeigen, welchen Einflufs die Erfahrung auf unsere scheinbar ganz unmittelbar und ohne Hilfe geistiger Thätigkeiten gewonnenen Sinneswahrnehmungen hat. Die Gesetze der Beleuchtung, des Schlagschattens, der Lufttrübung, der perspectivischen Darstellung und Deckung verschiedener Körper, die Gröfse der Menschen und Thiere u. s. w. können wir erst durch Erfahrung kennen gelernt haben; wenigstens hat noch kein Vertheidiger der angeborenen Anschauungen ihre angeborene Ursprünglichkeit zu behaupten gewagt, und für einige derselben, welche längere Einübung erfordern, kann man, wie oben bemerkt, bei Kindern direct nachweisen, dafs sie nicht angeboren sind. Und doch genügen diese Momente in vielen Verhältnissen, um eine Anschauung der räumlichen Formen und Verhältnisse von vollkommener sinnlicher Lebhaftigkeit hervorzurufen, ohne dafs irgend ein Bewufstsein davon in uns rege wird, wie hierbei die Vergleichung des jetzigen Eindrucks mit früheren Eindrücken ähnlicher Art in das Spiel kommt. Das gegenwärtige Bild ruft in uns wach die Erinnerung an alles, was in früheren Gesichtsbildern Aehnliches sich gefunden hat, und auch an alles, was von sonstigen Erfahrungen mit diesen früheren Gesichtsbildern regelmäfsig verbunden war, also zum Beispiel die Anzahl von Schritten, die wir haben machen müssen, um an einen Menschen heranzukommen, dessen Erscheinung im Gesichtsfelde eine gewisse Gröfse gehabt hatte u. s. w. Diese Art der Association der Vorstellungen geschieht nicht bewufst und nicht willkürlich, sondern wie durch eine blinde Naturgewalt, wenn auch nach den Gesetzen unseres eigenen Geistes, und sie tritt deshalb in unseren Wahrnehmungen ebenso gut als eine äufsere uns zwingende Macht auf, wie die von aufsen kommenden Eindrücke, und was wir daher vermittels dieser auf die gesammelten Erfahrungen sich stützenden Ideenassociationen den gegenwärtigen Empfindungen hinzufügen, erscheint ebenso gut, wie letztere, uns ohne Willkür und ohne bewufste Thätigkeit
von unserer Seite als unmittelbar gegeben, also als unmittelbare Wahrnehmung, 633
während es doch nur zu den Vorstellungen zu rechnen ist.

Besonders interessant sind hierbei solche Fälle, wie die Täuschungen über das Relief von Medaillen, von perspectivischen Zeichnungen und andere ähnliche, wo ein Schwanken zwischen zwei Deutungen möglich ist. Hier finden wir, dafs wir beim ersten Anblick in eine dieser Deutungen unwillkürlich verfallen, und zwar der Regel nach wohl in diejenige, welche die gröfste Anzahl ähnlicher Erinnerungsbilder zurückruft, wie bei den Reliefs von menschlichen Gesichtern, wo wir der Regel nach die der Wirklichkeit entsprechende convexe Form zu sehen glauben. In andern Fällen schwankt es unwillkürlich, wie bei Sinsteden's Windmühle, wenn durch äufsere Zufälligkeiten oder Bewegungen des Auges bald diese bald jene Aehnlichkeit uns näher tritt. Aber wir können auch absichtlich einen Wechsel der

Deutung hervorbringen, wenn wir die Vorstellung der entgegengesetzten Figur möglichst lebhaft in uns aufrufen, bis deren Aehnlichkeit mit dem eben angeschauten Gesichtsbilde sich geltend macht, wo sie dann von selbst und ohne weitere Anstrengung stehen bleibt. Während der Zeit aber, wo sie stehen bleibt, besteht sie mit der vollen Energie sinnlicher Gewifsheit, und wenn sich in Folge irgend eines wechselnden Umstandes die entgegengesetzte Deutung wieder hervordrängt, hat auch diese wiederum dieselbe Deutlichkeit und Sicherheit, wenn auch das selbstbewufste Denken nun aufmerksam wird, dafs es mit einer zweideutigen Anschauung zu thun hat.

Wir gehen jetzt über zur zweiten Klasse der Momente, auf welche sich die Tiefenwahrnehmung stützt, solche nähmlich, denen bestimmte sinnliche Empfindungen zu Grunde liegen. Unter ihnen ist zuerst zu erörtern, wie viel die Accommodation des Auges leisten kann. Es ist kein Zweifel darüber, dafs Jemand, der seine Accommodationsänderungen viel beobachtet hat und das Muskelgefühl der dazu gehörigen Anstrengung kennt, im Stande ist anzugeben, ob er bei der Fixirung eines Gegenstandes oder eines optischen Bildes für grofse oder kleine Sehweiten accommodirt. Aber die Beurtheilung der Entfernung mittels dieses Hilfsmittels ist äufserst unvollkommen. Wundt[1] hat darüber Versuche angestellt, indem er den Beobachter mit einem Auge durch eine Oeffnung eines feststehenden Schirms nach einem vertical ausgespannten schwarzen Faden hinblicken liefs. Eine weifse Tafel bildete den Hintergrund. Der Faden konnte längs einer horizontal liegenden Scale verschoben und in gemessene Entfernungen vom Beobachter gestellt werden. Ueber seine absolute Entfernung konnten dabei so gut wie gar keine Angaben gemacht werden; wohl aber zeigte es sich, dafs, wenn dem Faden nach einander zwei verschiedene Stellungen gegeben wurden, mittels der veränderten Accommodation erkannt werden konnte, ob sich der Faden entfernt oder genähert habe. Doch wurde dabei eine Annäherung des Fadens, wobei die active Muskelanstrengung des Accommodationsapparats zunehmen muss, deutlicher erkannt, als eine Entfernung desselben. Die bei den Versuchen eintretende Ermüdung des
634 Auges bewirkte eine wachsende Unsicherheit in der Wahrnehmung auch der Annäherungen. Wundt giebt folgende Resultate seiner Versuche:

| Entfernung des Fadens vom Auge | Unterscheidungsgrenze für Annäherung | für Entfernung |
|---|---|---|
| 250 Ctm. | 12 Ctm. | 12 Ctm. |
| 220 „ | 10 „ | 12 „ |
| 200 „ | 8 „ | 12 „ |
| 180 „ | 8 „ | 12 „ |
| 100 „ | 8 „ | 11 „ |
| 80 „ | 5 „ | 7 „ |
| 50 „ | 4,5 „ | 6,5 „ |
| 40 „ | 4,5 „ | 4,5 „ |

[1] W. Wundt, *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung*. Leipzig und Heidelberg 1862. S. 105—118.

Wenn zwei Fäden in verschiedener Entfernung gleichzeitig ausgespannt wurden, ergaben sich dieselben Resultate wie für die Annäherung eines Fadens.

Ich habe am Ende einer innen geschwärzten Röhre einen schwarzen Schirm mit zwei senkrechten Spalten angebracht, dann den einen mit einem rothen, den andern mit einem blauen Glase geschlossen. Ich bedurfte einer erheblich stärkeren Accommodationsanstrengung, um den rothen Streifen deutlich zu sehen, als für den blauen. Nach langen Vergleichen beider Streifen entstand auch endlich der Eindruck, als wäre der rothe Streifen näher, der blaue ferner, aber die Täuschung trat schwer ein und schwand leicht wieder, sie liefs sich nur durch fortdauernd wechselnde Accommodation für den einen und den andern Streifen unterhalten. Die Täuschung liefs sich dadurch unterstützen, dafs ich den rothen Streifen etwas breiter machte und ihm auch dadurch das Ansehen eines näheren Objectes gab.

Wichtiger aber und genauer als die genannten Hilfsmittel, die Entfernungen zu schätzen, ist die Vergleichung der perspectivischen Bilder, welche derselbe Gegenstand, von verschiedenen Standpunkten aus gesehen, darbietet. Eine solche Vergleichung kann praktisch in doppelter Weise zu Stande kommen, entweder monocular bei Fortbewegung des Kopfes und Körpers, oder binocular mittels der beiden verschiedenen Bilder, welche beide Augen gleichzeitig von demselben Gegenstande geben. Da die beiden Augen etwas verschiedenen Ort im Raume haben, so sehen sie auch die vor uns liegenden Gegenstände von zwei etwas verschiedenen Gesichtspunkten aus und erzeugen dadurch eine ähnliche Verschiedenheit der Bilder, wie sie durch Fortbewegung im Raume nach einander hervorgebracht wird.

Wenn wir vorwärts gehen, so bleiben die Gegenstände, welche sich am Wege ruhend befinden, hinter uns zurück; sie gleiten in unserem Gesichtsfelde scheinbar an uns vorbei, und zwar in entgegengesetzter Richtung, als wir fortschreiten. Entferntere Gegenstände thun dasselbe, aber langsamer, während sehr entfernte Gegenstände, wie die Sterne, ruhig ihren Platz im Gesichtsfelde behaupten, so lange wir die Richtung unseres Körpers und Kopfes beibehalten. Es ist leicht ersichtlich, dafs die scheinbare Geschwindigkeit der Winkelverschiebungen der Gegenstände im Gesichtsfelde hierbei ihrer wahren Entfernung umgekehrt proportional sein mufs, so dafs aus der Geschwindigkeit der scheinbaren Bewegung sichere Schlüsse auf die 633
wahre Entfernung gemacht werden können.

Die Gegenstände verschiedener Entfernung verschieben sich dabei auch scheinbar gegen einander. Die entfernteren gehen im Vergleich zu den näheren scheinbar in Richtung des Beobachters vorwärts, die näheren umgekehrt scheinbar zurück. Dadurch entsteht eine sehr deutliche Anschauung ihrer verschiedenen Entfernung. Wenn man zum Beispiel in einem dichten Walde still steht, ist es nur in undeutlicher und gröberer Weise möglich, das Gewirr der Blätter und Zweige, welches man vor sich hat, zu trennen und zu unterscheiden, welche diesem und jenem Baume angehören,

in welcher Entfernung die einzelnen hinter einander sich befinden u. s. w. So wie man aber sich fortbewegt, löst sich alles von einander, und man bekommt sogleich eine körperliche Raumanschauung von dem Walde, gerade so, als wenn man ein gutes stereoskopisches Bild desselben ansähe.

Auch ist leicht einzusehen, dafs sich durch diese scheinbaren Verschiebungen der einzelnen Stämme, Aeste und Blätter gegen einander der wirkliche Wald im unmittelbaren sinnlichen Eindrucke durchaus unterscheiden mufs von jedem noch so vollkommenen Gemälde dieses Waldes. Wenn wir an der ebenen Fläche des Gemäldes uns vorüberbewegen, bleibt die scheinbare Lage aller Theile desselben gegen einander im Gesichtsfelde durchaus die gleiche. Die, welche entfernte Objecte darstellen, verschieben sich gegen den Beobachter durchaus in derselben Weise, als benachbarte Theile, welche nahen Objecten entsprechen. Ein Gemälde kann immer nur den Anblick des Gegenstandes von einem einzigen festen Gesichtspunkte aus gesehen darstellen; wollen wir durch dasselbe eine möglichst vollkommene Täuschung hervorrufen, so mufs auch der Beschauer seinen Standpunkt unverändert beibehalten. Jede Bewegung läfst sogleich den Unterschied zwischen dem Urbilde und dem Abbilde in sinnlicher Erscheinung hervortreten.

Nähere Gegenstände bewegen sich schneller, entferntere langsamer. Wenn wir selbst uns ungewöhnlich schnell bewegen, zum Beispiel in Eisenbahnzügen, so erscheinen uns die schnell vorübergleitenden Gegenstände deshalb leicht zu nah, und in Folge dessen auch kleiner, als sie sind. Es ist dies eine Gesichtstäuschung, welche von vielen Personen beobachtet und beschrieben wird[1]. Ich selbst habe diese Verkleinerung niemals recht deutlich sehen können, wie es denn viele solche Täuschungen giebt, welche bei der Gewohnheit gröfserer Aufmerksamkeit auf die Gesichtserscheinungen von selbst schwinden, weil der Beobachter sich in seinem Urtheil von den störenden Einflüssen unabhängig zu machen lernt.

Auch bei wissenschaftlichen Beobachtungen kann man die scheinbaren relativen Verschiebungen verschieden entfernter Gegenstände oft benutzen. Soll man zum Beispiel das Fadenkreuz eines Fernrohrs auf das Bild des Objectes genau einstellen, so bewege man das Auge hinter dem Ocular ein wenig hin und her, von rechts nach links und zurück. Man wird dann
636 sogleich sehen, ob das Fadenkreuz dabei im Verhältnifs zum Bilde still steht oder sich verschiebt. Im ersten Falle fällt es mit dem Bilde zusammen. Im zweiten ist es vor oder hinter ihm; und welches von beiden der Fall sei, ergiebt sich ebenfalls sogleich.

Die Bestimmungen der Fixsternparallaxen beruhen bekanntlich auf derselben scheinbaren Verschiebung, wobei nur als Mittel der Fortbewegung des Beobachters die Bewegung der Erde um die Sonne benutzt wird.

Ich glaube auch, dafs die Veränderungen des Retinalbildes bei Bewegungen des Körpers es hauptsächlich sind, wodurch einäugige Personen

---

[1] Dove in *Poggendorff's Annalen 1847.* LXXI, S. 118.

sich richtige Anschauungen von den körperlichen Formen der Umgebungen verschaffen. Wenn Jemand, der zwei gesunde Augen besitzt, eines derselben schliefst und unregelmäfsig gestaltete, unbekannte Gegenstände einäugig betrachtet, so erhält er eine falsche oder mindestens unsichere Vorstellung von ihrer Form. So wie er sich aber bewegt, gewinnt er sogleich die richtigen Anschauungen.

Auch vergesse man nicht, worauf bisher noch nicht immer der nöthige Nachdruck gelegt worden ist, dafs in allen physiologisch-optischen Versuchen, wo es sich um Beurtheilung der Entfernung eines irgend wie gesehenen Objectes oder Bildes handelt, wohl darauf zu achten ist, dafs der Kopf seine Lage gegen das Gesehene nicht ändere, sonst tritt sogleich eine verhältnifsmäfsig gute und genaue Bestimmung der wirklichen Entfernung durch die dabei beobachtete Verschiebung ein.

Bei den bisher besprochenen Aenderungen des Retinalbildes durch Bewegung entsteht eine Anschauung von den Entfernungsunterschieden nur dadurch, dafs das augenblicklich bestehende Bild verglichen wird mit den in der Erinnerung bewahrten unmittelbar vorhergegangenen Bildern im Auge. Wir haben schon in der Lehre vom Contrast hervorgehoben, dafs eine Vergleichung mittels der Erinnerung viel unsicherer zu sein pflegt, als eine Vergleichung zweier gegenwärtiger sinnlicher Eindrücke. So ist nun auch die Beurtheilung der Entfernungen mittels der gleichzeitigen Bilder beider Augen viel vollkommener, sicherer und genauer, als sie durch Bewegungen wenigstens innerhalb so geringer Distanzen, wie die Entfernung der Augen von einander ist, gewonnen werden kann.

Jedes einzelne Auge zeigt uns ein perspectivisches Bild der vor uns gelegenen Gegenstände. Da aber beide Augen nicht denselben Platz im Raume einnehmen, also die Objecte von etwas verschiedenen Gesichtspunkten aus betrachten, so sind die beiden perspectivischen Bilder, welche sie von ihnen entwerfen, auch etwas von einander verschieden. Wenn ich ein Blatt Papier so vor mich hinhalte, dafs es in die verlängerte Mittelebene meines Kopfes fällt, so sehe ich mit dem rechten Auge die rechte Seite des Papiers, mit dem linken die linke. Das entferntere Ende dieses Papiers erscheint im Bilde meines rechten Auges rechts, in dem des linken links von dem näheren zu liegen. Aehnliche Unterschiede, mehr oder weniger merklich, wird man bei genauerer Aufmerksamkeit viele finden, so oft man mit beiden Augen eine Anzahl verschieden entfernter Gegenstände betrachtet. Es sind Unterschiede derselben Art und Gröfse, wie sie entstehen, wenn man das Gesichtsfeld einäugig ansieht, das Auge aber fortbewegt um eine Strecke, welche der Entfernung beider Augen von einander gleich ist.

Betrachtet man dagegen eine ebene Zeichnung oder ein ebenes Gemälde, 637
so erhalten beide Augen dadurch durchaus dasselbe Netzhautbild (abgesehen etwa von den perspectivischen Verziehungen, die die Ebene des Gemäldes selbst in den beiden Netzhautbildern erleiden kann), während der im Gemälde dargestellte Gegenstand, wenn er nicht selbst eben ist, nothwendig

in beiden Augen verschiedene Netzhautbilder hervorrufen würde. Dadurch ist also wiederum in der unmittelbaren sinnlichen Anschauung ein Kennzeichen gegeben, wodurch sich der Anblick eines jeden nach drei Dimensionen ausgedehnten Objects unterscheiden mufs von dem Anblick eines ebenen Bildes desselben Objects.

Auch ist klar, dafs, wenn der Ort der beiden Netzhautbilder eines leuchtenden Punktes gegeben ist, daraus für die wissenschaftliche Untersuchung wenigstens, wenn auch noch nicht nothwendig für das gemeine Bewufstsein, unzweideutig der Ort des leuchtenden Punktes gefunden werden kann. Man lege durch jedes Netzhautbild und den Knotenpunkt des betreffenden Auges eine gerade Linie, so mufs, wie wir früher gezeigt haben, der leuchtende Punkt selbst in jeder dieser beiden Richtungslinien liegen. Also liegt er, wo sich beide schneiden.

Während also durch das einäugige Sehen bei ruhendem Kopfe nur die Richtung, in welcher der gesehene Punkt sich befindet, bestimmt ist, giebt das zweiäugige Sehen hinreichende Beobachtungsthatsachen, dafs aus ihnen auch die Entfernung des gesehenen Punktes bestimmt werden kann, wenigstens insoweit, als die vorhandenen Data hinreichende Genauigkeit dazu haben und zu dem angegebenen Ende zweckmäfsig benutzt werden. Im Allgemeinen ist die Genauigkeit in der Bestimmung der Entfernung desto kleiner, je gröfser diese selbst ist, da weit entfernte Gegenstände in beiden Augen nicht mehr merklich verschiedene Bilder geben.

Dafs nun in der That auf diesem Wege aufserordentlich genaue und deutliche sinnliche Anschauungen der Entfernungen gewonnen werden, läfst sich mittels der stereoskopischen Bilder zeigen; es sind dies Bilder, von denen je zwei zusammengehörige die beiden Ansichten darstellen, welche das rechte und das linke Auge desselben Beobachters von dem dargestellten Objecte haben.

Wir haben gesehen, dafs ein einzelnes ebenes Bild, mit beiden Augen gesehen, stets einen andern Eindruck machen mufs, als der Gegenstand des Bildes, selbst gesehen, machen würde. Wenn wir nun aber beiden Augen verschiedene Bilder zeigen, einem jeden dasjenige, welches es bei Betrachtung des Gegenstandes selbst wirklich gesehen haben würde, so sind wir im Stande, denselben Eindruck auf beiden Netzhäuten hervorzurufen, den der räumlich ausgedehnte Gegenstand wirklich gemacht haben würde, und unter diesen Umständen gewinnen wir durch die beiden Bilder in der That dieselbe Anschauung der körperlichen Form, wie bei wirklicher Betrachtung des Gegenstandes selbst.

Zwei Bilder, welche einen stereoskopischen Effect machen sollen, müssen also zwei verschiedenen perspectivischen Ansichten desselben Gegenstandes entsprechen, welche von verschiedenen Gesichtspunkten aus aufgenommen sind. Sie dürfen einander also nicht gleich sein, vielmehr müssen, verglichen mit den Bildern unendlich entfernter Punkte, die Bilder näherer Punkte in der Zeichnung für das rechte Auge desto mehr nach links hin, in dem Bilde

für das linke Auge desto mehr nach rechts hin liegen, je näher die Objecte 638
dem Beobachter sind. Denkt man sich also die Zeichnungen so aufeinander gelegt, dafs die Bilder der unendlich entfernten Gegenstände aufeinander fallen, so werden die Bilder der näheren Objecte desto weiter auseinander fallen, je näher sie sind. Ihre Distanz kann man die stereoskopische Parallaxe nennen. Diese ist positiv, wenn die näheren Punkte für das rechte Auge nach links, für das linke nach rechts abweichen. Die stereoskopische Parallaxe ist gleich grofs für Objecte, welche gleichen Abstand von der Ebene der Zeichnung haben.

Sind keine unendlich entfernten Objecte in der Zeichnung dargestellt, so kann man nur die Unterschiede der stereoskopischen Parallaxe ermitteln in Bezug auf irgend welchen beliebigen Punkt des Objects. Die Parallaxe in Bezug auf solchen Ausgangspunkt ist dann positiv für die näheren, negativ für die entfernteren übrigen Punkte.

Nennen wir den Abstand der Augen $2a$, den Abstand der Zeichnung von den Augen $b$, den Abstand des Objects von einer parallel der Zeichnung durch die Augen gelegten Ebene $\varrho$, und $e$ die stereoskopische Parallaxe, so ist diese

$$e = \frac{2ab}{\varrho},$$

wird also desto kleiner, je entfernter das Object, und für unendlich entfernte Objecte gleich Null.

Die zusammengehörigen stereoskopischen Bilder müssen bei einem solchen Versuche so vor die beiden Augen gebracht werden, dafs die unendlich entfernten Punkte darin beiden Augen in derselben Richtung erscheinen. Man kann dies ohne Instrument erreichen, wenn man beide Bilder neben einander legt, eins rechts, das andere links, so dafs zusammengehörige Punkte derselben etwa so weit von einander entfernt sind, als die Knotenpunkte der beiden Augen des Beobachters. Wenn der Beobachter sich dann mit parallel gerichteten Gesichtslinien vor die Bilder stellt, so sieht er sie beide mit beiden Augen in gleicher Richtung und die stereoskopische Täuschung tritt ein. Freilich sieht er hierbei mit dem rechten Auge nicht blos das rechte Bild, sondern links daneben auch noch das für das linke Auge bestimmte Bild, und ebenso mit dem linken Auge nicht blos das letztere Bild, sondern rechts daneben auch noch das andere. Wenn die richtige Stellung der Augen gefunden ist, sieht der Beobachter also neben einander scheinbar drei Bilder, von denen die beiden äufsern nur mit je einem Auge gesehen sind (das rechte vom linken, das linke vom rechten Auge) und nicht körperlich erscheinen, das mittlere beiden Augen zugleich angehört und körperlich erscheint.

Bei dem beschriebenen Versuche ist die Anwesenheit der drei Bilder störend; aufserdem mufs man für die Nähe accommodiren, während man die Gesichtslinien parallel einstellt, wie es beim Betrachten ferner Gegenstände

der Fall ist, und wobei man gewöhnt ist die Accommodation für die Ferne einzurichten. Deshalb gehört einige Uebung dazu, ehe man in dieser Weise ohne weitere Hilfsmittel stereoskopisch sehen lernt. Uebrigens ist die dabei entstehende Gesichtstäuschung ebenso vollkommen, wie bei der Anwendung
639 der gleich zu beschreibenden Instrumente. Ungeübte erleichtern sich das Gelingen des Versuchs, wenn sie nach den beiden Zeichnungen durch zwei innen geschwärzte Röhren blicken, weil dann die Nebenbilder fortfällen, und wenn sie dabei den beiden Zeichnungen eine geringere Distanz geben, als die der Augen ist. Bei einiger Uebung gelingt es auch ohne solche Hilfe; und es ist dies sogar die bequemste Art, grofse Mengen stereoskopischer Bilder hinter einander durchzusehen. Statt die Gesichtslinien nach einem weit entfernten Punkte einander nahehin parallel zu richten, kann man sie auch nach einem näheren Punkte convergiren lassen und die stereoskopischen Bilder zur Deckung bringen, indem man das rechte Auge nach dem linken, das linke nach dem rechten Bilde hinwendet, wobei ihre Blicklinien sich also zwischen den Bildern und dem Beobachter schneiden. Die Stellung der Augen ist dabei also so, als wenn man diesen Schnittpunkt fixirte, und dort, also den Augen näher, als die Bilder wirklich sind, erscheint auch der stereoskopisch gesehene Gegenstand. Bei diesem Versuche mufs man aber natürlich auch das für das rechte Auge bestimmte Bild nach links legen, das für das linke nach rechts, sonst wird die stereoskopische Parallaxe negativ, und man bekommt verkehrtes Relief, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man zwei neben einander liegende Linienzeichnungen ohne Schattirung, zum Beispiel von Krystallmodellen bald mit ungekreuzten, bald mit gekreuzten Blicklinien combinirt.

Die Instrumente, welche unter dem Namen der Stereoskope zur Betrachtung der stereoskopischen Bilder gebraucht werden, haben nur zum Zweck, dem Beobachter die Auffindung und Erhaltung der richtigen Augenstellung zu erleichtern und die störenden Nebenumstände wegzuschaffen; für die Erzeugung der Gesichtstäuschung sind sie ohne wesentlichen Vortheil.

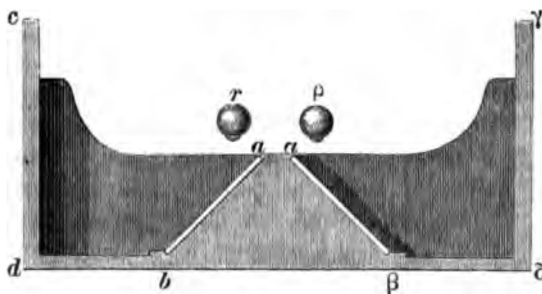


Fig. 230.

Das erste war das Stereoskop von WHEATSTONE, im Durchschnitte dargestellt in *Fig. 230.* Der wesentliche Theil des Instruments sind zwei Spiegel *ab* und *αβ*, welche unter 45° gegen den Horizont geneigt sind, und deren nach oben gekehrte Flächen spiegeln; *cd* und *γδ* sind Brettchen, an denen die Zeichnungen angebracht werden. Der Beobachter, dessen Augen durch *r* und *ρ*

angedeutet sind, blickt von oben her in die Spiegel. Das Licht, was von *cd* kommt, wird vom Spiegel *ab* gegen das Auge *r* so reflectirt, als käme es von dem Spiegelbilde *ff*. Aber auch das von $\gamma\delta$ kommende Licht wird durch den Spiegel $\alpha\beta$ nach dem Auge $\varrho$ so reflectirt, als käme es vom Bilde *ff*. So glauben also beide Augen das betreffende Bild bei *ff* zu sehen, und wenn nun die beiden Bilder Unterschiede zeigen, wie sie ein bei *f* befindlicher Gegenstand zeigen würde, so entsteht derselbe sinnliche 640
Eindruck, als sähe der Beobachter bei *ff* nicht die Bilder, sondern den räumlich ausgedehnten Gegenstand. Da die Zeichnungen hierbei durch Spiegel gesehen werden, welche rechts in links verkehren, so müssen sie negative stereoskopische Parallaxe haben.

Das Stereoskop von Brewster, welches gegenwärtig am meisten verbreitet ist, enthält zwei Prismen *p* und $\pi$ mit convexen Flächen, Stücke aus einer dicken Convexlinie von 0,18 Meter Brennweite, die optisch wirken wie die Combination eines ebenen Prisma mit einer Convexlinse. Die beiden Zeichnungen *ab* und $\alpha\beta$, *Fig. 231*, befinden sich nebeneinander auf demselben Blatte. Das rechte Auge *r* blickt durch das Prisma *p* nach der Zeichnung *ab*, das linke Auge $\varrho$ durch das Prisma $\pi$ nach der Zeichnung $\alpha\beta$; die Scheidewand *g* hindert, dafs jedes Auge die für das andere bestimmte Zeichnung sehen kann. Die von den Zeichnungen ausgehenden Strahlen *cp* und $\gamma\pi$ werden durch die Prismen in die Richtungen *pr* und $\pi\varrho$, welche verlängert sich in *q* schneiden, gebrochen. Durch die convexen Flächen der Prismen werden die Strahlenbündel zugleich weniger divergent gemacht, so dafs beide Augen ein Bild der zugehörigen Zeichnung in $f\varphi$ sehen. Das Object erscheint körperlich in der Lage $f\varphi$. Das Ganze ist in einen passenden Holzkasten eingeschlossen; um transparente Bilder betrachten zu können, befindet sich hinter den Zeichnungen *ab* $\alpha\beta$ eine mattgeschliffene Glasplatte. Die Bilder werden durch passende Spalte an den Seiten des Kastens bei *a* und $\beta$ ein- und ausgeschoben.

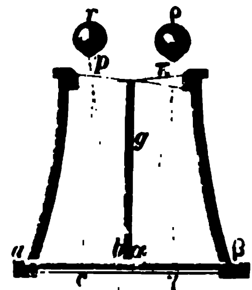


Fig. 231.

Das Stereoskop von Brewster ist viel compendiöser, als das von Wheatstone, man kann leichter eine gleichmäfsige Beleuchtung beider Bilder bewirken und die Zeichnungen erscheinen vergröfsert; doch ist zu bemerken, dafs an den Grenzen von Hell und Dunkel schmale farbige Ränder auftreten, wenn die Prismen nicht achromatisch gemacht werden, was übrigens in manchen dieser Instrumente geschehen ist. Andere Formen von Stereoskopen werden weiter unter beschrieben werden.

Am schlagendsten treten die Wirkungen des Stereoskops hervor an Zeichnungen, welche nur Umrisse von Körpern und Flächen darstellen, wo alle weiteren Hilfsmittel der Täuschung, Farbe, Schatten u. s. w. fortfallen,

und doch die schwarzen Linien von der Fläche des Papiers vollkommen losgelöst und durch den Raum hingezogen erscheinen. Selbst die verwickeltesten stereometrischen Zeichnungen, Darstellungen von Krystallmodellen, die ohne Stereoskop gesehen kaum verständlich sind, lösen sich vollständig auf und erscheinen als räumliche Gebilde.

Während bei solchen Linienfiguren der Unterschied zwischen dem stereoskopischen und nicht stereoskopischen Anblicke am auffallendsten ist, ist die Lebhaftigkeit der Täuschung selbst natürlich am gröfsten, wenn auch durch eine naturgetreue Schattirung die Körperform herausgehoben ist.
641 Doch ist es fast unmöglich, mit dem Bleistift oder dem Pinsel in der Schattirung von Zeichnungen die feinen Unterschiede beider Bilder genau wiederzugeben, welche dem Bilde des rechten und linken Auges entsprechen, und nur mit Hilfe der Photographie gelingt es, die genaue Uebereinstimmung beider Bilder zu erreichen, welche für einen guten stereoskopischen Eindruck nöthig ist. Da dergleichen stereoskopische Photographien jetzt überall im Handel zu haben sind, so darf ich voraussetzen, dafs sie meinen Lesern allgemein bekannt sind. Sie werden angefertigt, indem man denselben Gegenstand zwei Mal photographisch abbildet, und zwar von zwei etwas verschiedenen Standpunkten aus. Entweder thut man es gleichzeitig mit zwei photographischen Apparaten oder schnell nach einander mit demselben Apparate. Die Anwendung von zwei Apparaten ist namentlich bei schnell veränderlichen Gegenständen nöthig. Schon wenn die Objecte von der Sonne direct beleuchtet sind, verschieben sich die Schlagschatten oft merklich zwischen der Aufnahme des ersten und zweiten Bildes, da doch gewöhnlich 5 bis 10 Minuten vergehen, ehe der Apparat für die zweite Aufnahme eingestellt ist. Noch nothwendiger ist die Anwendung zweier photographischer dunkler Kammern, wenn sogenannte instantane Bilder von beweglichen Gegenständen, Wellen, Schiffen, Pferden u. s. w. gemacht werden sollen, bei denen unter Benützung scharfer Sonnenbeleuchtung und sehr empfindlicher photographischer Präparate die Expositionszeit auf einen Bruchtheil einer Secunde beschränkt werden kann.

Die Naturwahrheit solcher stereoskopischer Photographien und die Lebhaftigkeit, mit der sie die Körperform darstellen, ist nun in der That so grofs, dafs manche Objecte, zum Beispiel Gebäude, die man aus stereoskopischen Bildern kennt, wenn man später in Wirklichkeit vor sie hintritt, nicht mehr den Eindruck eines unbekannten oder nur halb bekannten Gegenstandes machen. Man gewinnt in solchen Fällen durch den wirklichen Anblick des abgebildeten Gegenstandes, wenigstens für die Formverhältnisse, keine neuen und genaueren Anschauungen mehr, als man schon hat. Wie viel durch das stereoskopische Sehen gewonnen wird, ist auch hierbei natürlich am auffallendsten an den Bildern solcher Gegenstände, welche sich schlecht zur Darstellung in einer einfachen Zeichnung oder einem Gemälde eignen, wie zum Beispiel an Bildern von unregelmäfsigen Felsen, Eisblöcken, mikroskopischen Objecten, Thieren, Wäldern u. s. w. Namentlich die Ab-

ldungen von Gletschereis mit seinen tiefen Spalten, welche durch die asse des Eises hindurch erleuchtet sind, machen eine überraschende irkung. Das einzelne Bild, einzeln betrachtet, macht in solchem Falle wöhnlich nur den Eindruck eines unverständlichen Aggregats grauer Flecke, ihrend in der stereoskopischen Combination die Formen der Eisblöcke, so e das transparente und reflectirte Licht derselben auf das deutlichste rvortreten. Es wird in diesem Falle das Verständnifs des einzelnen ldes so schwer, weil einmal schon so unregelmäfsige Formen, wie die der sblöcke, auch bei blosser Beleuchtung durch auffallendes Licht nicht utlich wiederzugeben sind, vollends aber bei der transparenten Beıchtung auch die gewöhnlichen Gesetze der Schattirung ganz abgeändert erden.

Sehr überraschend ist auch die stereoskopische Darstellung glänzender egenstände, z. B. einer von leichten Wellen bewegten Wasserfläche; doch nnen wir die stereoskopische Darstellung des Glanzes erst im folgenden 649 ıragraphen besprechen.

Wir gehen nun über zur Untersuchung der Genauigkeit, mit welcher h die Tiefendimensionen des Gesichtsfeldes mittels der gleichzeitigen ıätigkeit beider Augen beurtheilen lassen. Dabei haben wir zu unterheiden die Beurtheilung der absoluten Entfernung der gesehenen ojecte, und die Beurtheilung der Entfernungsunterschiede veriedener Objectpunkte. Die erstere kann bei Ausschlufs der früher sprochenen Momente nur gestützt werden auf die Empfindung des absoluten ades der Convergenz, in welchem sich die beiden Blicklinien befinden, nn sie auf einen gewissen Objectpunkt gerichtet sind; die Unterschiede r beiden Netzhautbilder können dazu nichts beitragen, oder wenigstens ıd, wie es scheint, diejenigen Unterschiede der Bilder, welche etwa dazu itragen könnten, zu unbedeutend, als dafs daraus ein wirklicher Nutzen zogen würde. — Die Beurtheilung der Entfernungsunterschiede verschiedener ojectpunkte beruht auf dem Unterschiede der Bilder in beiden Sehfeldern. e könnte beruhen, einmal auf einer Perception des Unterschiedes der iden Netzhautbilder bei ruhenden Blicklinien, oder auf einer Perception r Bewegungsunterschiede, welche eintreten, wenn die Augen von der xation eines Objectpunktes zu der eines andern übergeführt werden. Bei n bisherigen Versuchen hat sich noch kein Unterschied in der Schärfe r Wahrnehmung herausgestellt, der von der Vermeidung oder Ausführung n Augenbewegungen abhinge, und die Vergleichung der Netzhautbilder ıeint daher mit so überwiegender Feinheit vollzogen zu werden, dafs die wegungsunterschiede daneben nicht berücksichtigt zu werden brauchen. ir werden später indessen sehen, dafs namentlich bei schwer zu comıirenden Bildern die Evidenz der Täuschung durch die Bewegungen des ıges wesentlich unterstützt wird.

Wir beginnen mit der Beurtheilung der Entfernungsunterschiede, weit dieselbe von der Vergleichung verschiedener Netzhautbilder abhängt,

wobei aber wohl zu verstehen ist, daſs hier die Differenzen der Bilder in beiden Sehfeldern als solche noch nicht zum Bewuſstsein kommen, sondern nur die Unterschiede der Tiefendimension, die von jenen Unterschieden abhängen, aufgefaſst und geschätzt werden.

Die Vergleichung der beiden Netzhautbilder, wie sie sich in der Wahrnehmung der Tiefendimension zu erkennen giebt, ist auſserordentlich genau, und es werden darin zuweilen Unterschiede wahrgenommen, welche kaum in anderer Weise ohne künstliche Meſsinstrumente wahrgenommen werden können. Schon bei den gewöhnlichen stereoskopischen Photographien sind die Unterschiede beider Bilder meistens so klein, daſs eine auſserordentlich genaue Untersuchung dazu gehört dieselben zu entdecken, und gewöhnlich bemerkt man Unterschiede nur längs der Contourlinien vorderer Gegenstände, welche die dahinter liegenden bald im rechten, bald im linken Bilde etwas mehr verdecken.

Dove[1] hat schon folgende Beispiele von der Genauigkeit des stereoskopischen Sehens gegeben:

643 Wenn man zwei Medaillen, die mit demselben Stempel geschlagen sind, aber aus verschiedenen Metallen, stereoskopisch combinirt, so sieht das Gesammtbild schräg liegend und gewölbt aus, nicht eben. Der Grund davon beruht darin, daſs die Metalle durch den Druck des Stempels beim Prägen comprimirt werden und sich nachher ihrer verschiedenen Elasticität entsprechend wieder verschieden stark ausdehnen. Deshalb sind Medaillen aus verschiedenen Metallen geprägt nicht genau gleich groſs, aber ihre Gröſsenunterschiede sind auſserordentlich klein. Ich selbst habe bei Professor Dove solche Medaillen gesehen, eine aus Silber, eine aus Bronze bestehend, deren Gröſsenunterschied mit bloſsem Auge gar nicht zu entdecken war, selbst wenn man sie aufeinander legte, und die doch ein deutlich gewölbtes Bild gaben.

Wenn in einer Buchdruckerpresse derselbe Satz von Buchstaben zwei Mal gesetzt wird, so ist es, wenigstens ohne ungewöhnliche Vorsichtsmaaſsregeln, nicht möglich, die Abstände der Buchstaben genau gleich zu machen. In Folge dessen erscheinen im Stereoskop bei der Combination zweier solcher Drucke einzelne Worte und Buchstaben vor oder hinter den andern liegend. Ganz eben erscheint ein solcher Druck nur, wenn beide Exemplare mit demselben Buchstabensatze gedruckt sind; und auch dann kann das Ganze noch gewölbt und schräg liegend erscheinen, wenn durch verschiedene Befeuchtung oder Zerrung das Papierblatt im Ganzen sich gedehnt hat, doch erscheinen dann keine unregelmäſsigen Erhöhungen einzelner Buchstaben.

Wie man auf diese Weise die zweite Auflage eines Drucks von der ersten unterscheiden kann, so kann man auch nachgemachte Geldpapiere von ächten unterscheiden, weil es nicht möglich ist, in der Copie den Abstand

[1] H. W. Dove, Optische Studien. Berlin 1859. S. 25—36.

der Buchstaben so genau gleich denen des Originals zu machen, dafs nicht Erhebungen und Vertiefungen einzelner unter ihnen zum Vorschein kämen, wenn man ein ächtes und ein unächtes Papier im Stereoskope combinirt. Auch an zwei ächten Exemplaren desselben Werthpapiers zeigen sich übrigens solche Theile, welche mit verschiedenen Druckplatten gedruckt sind, gewöhnlich in verschiedener Ebene, und man kann mittels des Stereoskops leicht ermitteln, wieviel Platten zum Drucke des Papiers angewendet sind. Sehr bequem ist dieselbe Methode auch, um an Maafsstäben zu controlliren, ob die Theilstriche alle gleich grofs sind. Man braucht nur zwei verschiedene Theile desselben Maafsstabs stereoskopisch zum Decken zu bringen. Sind die Theile gleich grofs, so erscheinen alle Theilstriche in einer Ebene zu liegen. Sind die Theile unregelmäfsig, so treten einige Striche vor, andere zurück.

Ein anderes Beispiel solcher kleinen Verschiebungen, welche durch stereoskopische Combinationen leicht sichtbar werden, und welches mir gelegentlich auffiel, ist folgendes. Wenn man mit einem Auge frei, mit dem anderen aber durch den warmen Luftstrom über dem Schornstein einer brennenden Lampe nach der Tapete des Zimmers blickt, so sieht man bei einiger Aufmerksamkeit eine grofse einspringende und eine ausspringende Falte in der Tapete, als hätte sich diese von der Mauer losgelöst. Sieht das rechte Auge durch den warmen Luftstrom, so erscheint rechts die vorspringende, links die zurückspringende Falte; umgekehrt dem linken Auge. Am deutlichsten wird das Phänomen, wenn sich der Beobachter etwa drei 644
Fufs von der Wand aufstellt, und die Lampe in die Mitte dieser Entfernung. Dann fallen die beiden ausspringenden Falten für beide Augen an denselben Ort zusammen und die Wirkung verstärkt sich somit. Die Erscheinung erklärt sich durch die Brechung des Lichts in dem warmen Luftstrom. Sei dessen Querschnitt durch den Kreis $A$ in *Fig.* 232 angedeutet, $r$ und $\varrho$ seien die beiden Augen des Beobachters, $a, b, c$ Punkte der Wand, so erscheinen diese dem Auge $r$ in Richtung der drei geradlinigen Richtungsstrahlen $ra$, $rb$ und $rc$. In das Auge $\varrho$ gelangen die Strahlen aber auf den Wegen $a a_1 \varrho$, $b \varrho$ und $c c_1 \varrho$, wegen der Brechung in dem warmen Luftstrome $A$. Nur der durch dessen Mitte gehende Strahl $b \varrho$ kann geradlinig bleiben. Dem Auge $\varrho$ erscheinen die Punkte $c$ und $a$ also in Richtung der Verlängerung der Strahlen $\varrho c_1$ und $\varrho a_1$, beiden Augen zusammen also in $\gamma$ und $\alpha$, wo sich beziehlich $\varrho c_1$ mit $rc$ und $\varrho a_1$ mit $ra$ schneidet. So erscheint also die Tapete hervorgetrieben auf der Seite des Auges, welches durch den warmen Luftstrom sieht, auf der andern Seite zurücktretend.

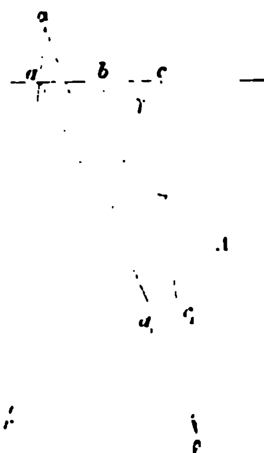


Fig. 232.

Ich habe noch einige Versuche angestellt über den Grad von Genauigkeit, der in der stereoskopischen Vergleichung der beiden Netzhautbilder erreicht werden kann. Zu dem Ende habe ich drei gleiche Nadeln senkrecht befestigt an dem Ende dreier vierkantiger kleiner Holzbalken, diese neben einander auf einen ebenen Tisch gelegt, so dafs sich die drei Nadeln neben einander in Abständen von je 12 Millimetern und nahehin in derselben Ebene befanden. Ich stellte mich dann so auf, dafs meine Augen sich in oder etwas unter der verlängerten oberen Ebene der drei Bälkchen befanden, und ich also die drei Nadeln sah, ohne die Begrenzungslinie desjenigen Endes der Holzbalken sehen zu können, an welchem die Nadeln befestigt waren. Die Entfernung meiner Augen von den Nadeln betrug 340 Millimeter. Unter diesen Umständen konnte ich nur mittels der Vergleichung der beiden Netzhautbilder erkennen, ob die Nadeln genau in einer verticalen Ebene sich befanden oder nicht. Waren sie es nicht, so konnten sie durch Verschiebung eines der Hölzer, in denen sie befestigt waren, in eine Ebene gebracht werden, so gut es der Beobachter eben erkennen konnte, und wenn man nachher das eine Auge in Richtung dieser Ebene brachte und nach den Nadeln hinblickte, konnte man leicht erkennen, in wie weit die Einstellung der Nadeln gelungen war. Es ist dabei zu bemerken, dafs man die Abstände der Nadeln von einander nicht zu grofs machen darf, weil sich dann eine eigenthümliche Täuschung des Urtheils einmischt, die im folgenden Abschnitt bei der Lehre vom Horopter besprochen werden soll. Für den Zweck sind die oben angegebenen Distanzen passend und machen jene Täuschung ohne Einflufs. Ich habe mich unter diesen Um-
645 ständen nie, auch nur um eine halbe Dicke der Nadeln, d. h. um $1/4$ Millimeter geirrt, wenn die Ebene der Nadeln senkrecht zur Gesichtslinie war. War dieselbe stark gegen die Gesichtslinie geneigt, so war die Vergleichung nicht ganz so sicher. Wenn eine Nadel um ihre eigene Dicke, also um $1/2$ Millimeter, vor oder hinter die Ebene der andern getreten war, war dies mit vollkommener Sicherheit zu erkennen. Man kann unter diesen Umständen leicht berechnen, um wieviel das Bild der mittleren Nadel verglichen mit den Bildern der beiden äufseren in dem einen Auge anders lag, als in dem andern, wenn dieselbe $1/2$ Millimeter vor der Ebene der beiden anderen sich befand. Die Distanz meiner Augen beträgt 68 Millimeter. Auf die Ebene der beiden andern Nadeln projicirt, würde die Lage der mittleren Nadel in den beiden Netzhautbildern $\frac{1}{2} \cdot \frac{68}{340} = \frac{1}{10}$ Millimeter verschieden gewesen sein. Eine Breite von $\frac{1}{10}$ Millimeter auf 340 Mm. Distanz liegt schon an der Grenze der kleinsten sichtbaren Abstände. Sie entspricht einem Winkel von $60\frac{1}{2}$ Winkelsecunden, oder 0,0044 Millimeter Distanz auf der Netzhaut. Daraus folgt also, dafs die *Vergleichung der Netzhautbilder beider Augen zum Zweck des stereoskopischen Sehens mit derselben Genauigkeit geschieht, mit*

welcher die kleinsten Abstände von einem und demselben Auge gesehen werden.

Sehr kleine Unterschiede, herrührend von der verschiedenen Brechbarkeit verschiedenfarbiger Lichtstrahlen, kommen auch zur Wirkung nach einer Bemerkung von BREWSTER, wenn man durch eine Convexlinse von zwei bis drei Zoll Breite nach einem rothen und einem blauen Objecte hinsieht, die in gleicher Entfernung vom Beobachter sich befinden. Dann erscheint das rothe näher als das blaue.

Die stereoskopische Unterscheidbarkeit der Tiefendistanzen nimmt für entferntere Gegenstände schnell ab. Das mathematische Gesetz dafür hat eine ähnliche Form, wie das für die Bilder von Convexlinsen. Es sei $r$ die Distanz des entfernteren Punktes vom Auge, $\varrho$ die des näheren, und $f$ eine Constante, von der die Genauigkeit abhängt, so ist die Tiefendistanz der Punkte unterscheidbar, wenn

$$\frac{1}{\varrho} - \frac{1}{r} > \frac{1}{f}.$$

Nach den eben angeführten Messungen können wir den Werth von $f$ gleich oder gröfser als 240 Meter setzen. Setzen wir statt $r$ den Abstand des Objects, statt $\varrho$ den Abstand des Bildes von einer convexen Linse, deren negative Brennweite gleich $f$ ist, so wird

$$\frac{1}{\varrho} - \frac{1}{r} = \frac{1}{f}.$$

Wenn man also irgend einen Gegenstand durch eine äufserst schwache Concavlinse von 240 Meter negativer Brennweite ansehen würde, so würde das Bild des Gegenstandes an der Stelle des entferntesten Objects liegen, welches stereoskopisch noch, als vor jenem ersten liegend, erkannt werden könnte. Wer daran gewöhnt ist, die Lage der Linsenbilder zu übersehen, 646
wird hierdurch gleich erkennen, dafs in der Entfernung nur sehr grofse Tiefendimensionen, in der Nähe dagegen sehr kleine erkannt werden können.

Die Gröfse $f$ in dieser Formel bezeichnet die weiteste Distanz, in welcher ein Object stereoskopisch noch von unendlich weit dahinter gelegenen Gegenständen unterschieden werden kann.

Ueber die Energie, mit welcher die stereoskopische Vergleichung der Netzhautbilder die Vorstellung verschiedener Entfernung giebt, im Vergleich mit den übrigen Hilfsmitteln des Sehens, ist namentlich eine Abänderung des Stereoskops, das Pseudoskop, lehrreich. Dieses Instrument ist dazu bestimmt, die binocularen Bilder wirklicher Gegenstände so zu verändern, dafs man falsche stereoskopische Reliefs davon erhalt. Das Pseudoskop von WHEATSTONE enthält zwei rechtwinkelige Glasprismen, deren Kanten rechtwinkelig zur Visirebene gestellt sind, und durch welche der Beobachter

in einer ihrer Hypotenusenfläche parallelen Richtung hindurchblickt. Es ist oben auf Seite 634 und in *Fig. 205* schon der Gang der Strahlen in einem solchen Prisma angegeben worden. Man sieht durch ein solches Prisma Objecte, die in Richtung des ihrer Hypotenusenfläche parallelen unabgelenkten Strahls liegen, an ihrem richtigen Orte, die rechts daneben befindlichen dagegen durch die Spiegelung nach links, die links befindlichen nach rechts verlegt. Da jedes Auge die Objecte in dieser Weise durch die Spiegelung symmetrisch umgelagert erblickt, so sind die Bilder beider Augen wieder mit einander in Uebereinstimmung. Die beiden Prismen werden übrigens in kurze Röhren eingesetzt, so dafs ihre Hypotenusenfläche der Axe der Röhre parallel ist. Die Röhren müssen um ihre eigene Axe und um eine zur Visirebene senkrechte Axe drehbar sein, damit man die beiden Bilder in übereinstimmende Stellung bringen kann.

Dafs dabei auch das stereoskopische Relief verkehrt werden mufs, läfst sich leicht an einem einfachen Beispiele erkennen. Man denke sich als Object symmetrisch zu der Mittelebene des Kopfes gelegen einen viereckigen Balken. Beide Augen werden von diesem die vordere Fläche sehen, das rechte auch noch etwas von der rechten Seitenfläche, das linke etwas von der linken. Wenn man nun aber durch das Pseudoskop sieht, erscheint dem rechten Auge das, was es von der rechten Seitenfläche sieht, links neben der vorderen Fläche zu liegen. Das linke Auge sieht umgekehrt etwas von einer Seitenfläche rechts von dieser. Das kann nun an einem Balken nicht vorkommen, wohl aber an einer hohlen Rinne von viereckigem Querschnitt, welche an der dem Beobachter zugekehrten Seite geöffnet ist. In einer solchen würde das rechte Auge in der That ein verkürztes Bild der linken Seitenfläche sehen, das linke Auge eines der rechten. Dem entsprechend erscheint nun auch der Balken durch das Pseudoskop in der That als eine hohle Rinne. Ebenso erscheinen überhaupt convexe Körper als concav, nähere Gegenstände entfernter und so fort.

Die pseudoskopische Täuschung gelingt übrigens doch nur an einer kleinen Zahl von Gegenständen, weil ihr theils die Kenntnifs der gewöhnlichen Formen, theils die Schlagschatten hindernd in den Weg treten. Ich habe schon früher hervorgehoben, dafs die Schlagschatten immer unzwei-
647 deutige Auskunft über gewisse geometrische Verhältnisse geben. Der schattengebende Körper mufs immer vor der beschatteten Fläche liegen. Wenn nun auf einer ebenen Fläche irgend ein hervorspringender Körper liegt, so wirft er seinen Schatten auf die Unterlage. Im Pseudoskop sollte er nun eigentlich hinter der Fläche liegend erscheinen, als wäre er in diese eingegraben. Dann hat aber der Schlagschatten keinen Sinn und stört die Möglichkeit der Täuschung. Ebenso hinderlich ist es, wenn eine vorliegende Fläche eine hinterliegende theilweise verdeckt. Dann sieht das rechte Auge an der rechten Seite der vorliegenden Fläche etwas mehr von der hinterliegenden als das linke, und das hat ebenfalls bei der pseudoskopischen Umkehrung keinen Sinn.

Die Körper, welche man pseudoskopisch sehen will, mufs man deshalb im Allgemeinen frei im Raume aufstellen, vor einer entfernteren gleichmäfsig gefärbten Wand als Hintergrund, auf die sie keinen deutlichen Schlagschatten mehr werfen können, und die keine auffallenden Merkzeichen hat, die sich selbst als Gesichtsobject darböten. Ferner mufs man vermeiden, dafs ein Theil des Objects perspectivisch einen andern Theil theilweise deckt. Passende Objecte sind zum Beispiel Cylinder von beschriebenem oder gedrucktem Papier, von Holz etc., welche wie hohle Rinnen aussehen, Cigarren, welche wie ein hohles Tabaksblatt aussehen, Medaillen, von vorn beleuchtet, welche wie Siegel vertieft erscheinen. Sehr lebhaft finde ich die Täuschung bei der pseudoskopischen Betrachtung eines hohlen Glascylinders, der eine eingeätzte Theilung zur Abmessung von Flüssigkeiten trägt. Ist die Theilung dem Beschauer zugekehrt, so erscheint sie durch das Pseudoskop an der abgewendeten Seite des Cylinders. Auch verticale Drähte oder Fäden, die sich in verschiedener Entfernung vom Beobachter befinden, geben ein sehr geeignetes Object. Die näheren erscheinen durch das Pseudoskop entfernter, die entfernteren nahe.

Wo die Bekanntschaft mit der wirklichen Form der Objecte oder der Schlagschatten hindernd entgegentritt, gelingt es oft noch durch eine lebhafte Vorstellung der pseudoskopischen Form, wie sie erscheinen sollte, die Vorstellung derselben hervorzurufen; und wenn sie sich einmal gebildet hat, bleibt sie auch ohne Mühe bestehen. Andererseits kann man auch wohl wieder die Anschauung der wirklichen Form zurückrufen, doch fühlt man sich bei dieser durch die dazu nicht stimmenden Differenzen der beiden Netzhautbilder immer einigermaafsen beunruhigt und gestört.

Während das Pseudoskop das Relief der gesehenen Gegenstände umkehrt, wird es von dem Telestereoskop stärker hervorgehoben, als es in der natürlichen Anschauung geschieht, und das letztere Instrument ist deshalb besonders brauchbar, um an sehr entfernten Gegenständen, die im natürlichen Sehen keine oder nur eine sehr undeutliche stereoskopische Anschauung geben, das Relief deutlicher hervorzuheben. Für die Betrachtung sehr weit entfernter Gegenstände sind die menschlichen Augen nicht weit genug von einander entfernt, um zwei merklich verschiedene Bilder derselben zu geben, man mufs also die Distanz der Gesichtspunkte künstlich vergröfsern, um zwei hinreichend verschiedene Bilder zu erhalten. Dies geschieht im Telestereoskop mit Hilfe von vier Planspiegeln, welche in 648
*Fig. 233* bei *a*, *b*, $\alpha$ und $\beta$ im Durchschnitt dargestellt sind. Die beiden Augen des Beobachters befinden sich bei $r$ und $\varrho$. Die Linien $cbar$ und $\gamma\beta\alpha\varrho$ bezeichnen den Gang der Lichtstrahlen. Die vier Spiegel sind in einem Kasten, dessen Wände im Durchschnitt dargestellt sind, so befestigt, dafs sie kleine Drehungen erlauben, um die Bilder zur Coincidenz zu bringen. Es genügt, wenn die Spiegel $a$ und $\alpha$ rechtwinkelig zu einander und zur Basis des Kastens befestigt sind, dafs der Spiegel $\beta$ mittels einer Stellschraube um eine horizontale, und der Spiegel $b$ durch eine andere Schraube

um eine verticale Axe gedreht werden kann. Um ein grofses Gesichtsfeld zu haben, mufs man die äufseren Spiegel möglichst grofs machen.

Wenn $r_1$ den Ort des Spiegelbildes bezeichnet, welches das System der beiden Spiegel $a$ und $b$ vom Auge $r$ entwirft, und ebenso $\varrho_1$ das Spiegelbild von $\varrho$, entworfen durch die Spiegel $\alpha$ und $\beta$, so sieht das Auge $r$ mittels der beiden Spiegel die vorliegende Landschaft so, wie sie einem in $r_1$ befindlichen Auge ohne die Spiegel erscheinen würde; und das Auge $\varrho$ sieht die Landschaft, wie sie von $\varrho_1$ aus erscheint. Da nun die Punkte $r_1$ und $\varrho_1$ viel weiter auseinanderliegen als die wirklichen Augen $r$ und $\varrho$, so sind auch die Differenzen der beiden Bilder der Landschaft, wie sie von $r_1$ und $\varrho_1$ aus gesehen erscheinen würde, viel gröfser, als die natürlichen

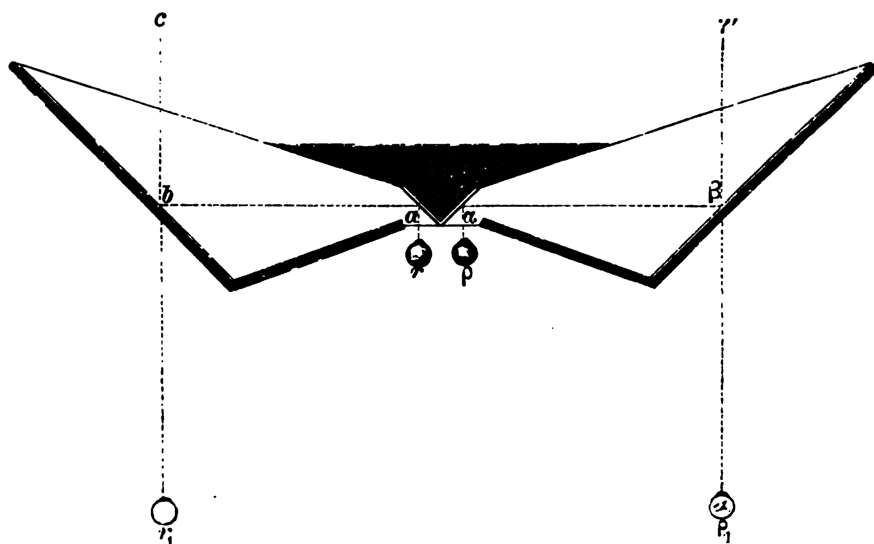



*Fig. 233.*

Differenzen in beiden Augen, und demgemäfs erscheint nun auch das stereoskopische Relief der entfernten Objecte, namentlich entfernter Bergzüge und Terrainformen, viel deutlicher als dem blofsen Auge. Wenn die Spiegel so gestellt sind, dafs unendlich entfernte Objecte durch das Telestereoskop mit parallelen Gesichtslinien gesehen werden, so erhält die Landschaft dadurch das Ansehen, als wenn der Beobachter nicht die natürliche Landschaft, sondern ein sehr zierliches und genaues Modell derselben vor sich hätte, welches im Verhältnifs der Distanzen $r_1\varrho_1 : r\varrho$ *(Fig. 233)* verkleinert ist.

649 Etwas ähnliches wie das Telestereoskop leisten auch die meisten stereoskopischen Photographien von Landschaften, weil in der Regel der Abstand der beiden Gesichtspunkte auch bei der photographischen Aufnahme viel gröfser gewählt wird, als die natürliche Distanz der Augen. Andererseits können mittels der Photographie stereoskopische Bilder selbst von Himmels-

körpern, namentlich schön vom Monde, erhalten werden, wenn man zwei zu verschiedenen Zeiten aufgenommene Bilder combinirt, wobei die betreffenden Gestirne der Erde etwas verschiedene Seiten zugewendet haben. Obgleich der Mond der Erde im Ganzen fortdauernd dieselbe Seite zukehrt, so kommen doch kleine Schwankungen in seiner Stellung vor, welche es möglich machen von ihm stereoskopische Bilder zu erhalten, wenn man ihn in zwei verschiedenen Monaten photographirt, in solchen Augenblicken, wo die Beleuchtung desselben durch die Sonne genau dieselbe war. Solche Photographien geben nicht blos die Kugelgestalt unseres Trabanten deutlich wieder, sondern auch einzelnes von dem Relief seiner Ringgebirge.

Die Beurtheilung der absoluten Entfernung eines zweiäugig gesehenen Objects würde, wenn alle andern Mittel der Schätzung fehlen, vollzogen werden können mittels des Gefühls für den Grad der Convergenz, in die unsere auf das Object gerichteten Blicklinien sich stellen. Doch ist dieses Gefühl ziemlich unsicher und ungenau, und wir sind in dieser Beziehung unter Umständen ziemlich bedeutenden Täuschungen ausgesetzt.

Um zunächst zu erweisen, dafs wir in der That die absolute Entfernung der gesehenen Objecte und demgemäfs auch ihre Gröfse nach der Convergenz der Blicklinien beurtheilen, so lange nicht andere hindernde Umstände dazwischentreten, dient der von Wheatstone angegebene Versuch. Dieser hatte sich sein Spiegelstereoskop so einrichten lassen, dafs erstens die beiden Bilder den Spiegeln genähert und von ihnen entfernt werden konnten. Die parallelen Wände, an welchen die Bilder aufgestellt sind, sind auf Schlitten verschiebbar, die beiden Arme des Stereoskops aber drehbar um eine feste Axe, welche zwischen den Spiegeln liegt. Je näher die beiden Bilder den Spiegeln gebracht werden, desto gröfser werden die beiden Retinabilder ohne Veränderung der Convergenz. Dabei nimmt die scheinbare Gröfse des gesehenen Objects zu, ohne Veränderung seiner scheinbaren Entfernung. Läfst man dagegen die Bilder an den Armen des Instruments unverrückt, dreht aber die Spiegel um ihre mittlere Axe, so ändert sich die Convergenz, während die Gröfse des Netzhautbildes unverändert bleibt. Dabei vermindern sich scheinbare Gröfse und Entfernung des gesehenen Objects, wenn die Convergenz zunimmt.

Aehnliche Verkleinerung und Vergröfserung der Objecte läfst sich auch an jedem Paar stereoskopischer Zeichnungen beobachten, die man entweder mit blofsen Augen oder mit dem Linsenstereoskope vereinigt, wenn man die Zeichnungen einander nähert oder von einander entfernt. Einen Apparat, um die nöthigen Messungen hierbei anstellen zu können, hat H. Meyer[1] angegeben.

Wundt hat directe Versuche angestellt über die Schätzung der Entfernung nach dem Grade der Convergenz. Er blickte dabei nach einem 650
schwarzen verticalen Faden, der vor einem entfernteren gleichmäfsig weifsen

[1] H. Meyer, *Poggendorff's Annalen.* LXXXV, S. 198—207.

Grunde sich abzeichnete, und zwar blickte er durch einen horizontalen gegen den Faden hin etwas röhrenförmig verlängerten Schlitz mit beiden Augen, so dafs er nur den mittleren Theil des Fadens, nicht seine Enden sah, und auch von den seitlich gelegenen Gegenständen nichts, was ihm als Maafsstab der Entfernung hätte dienen können. Der Faden war an einem horizontal in der Medianebene des Beobachters ausgespannten Drahte aufgehängt und verschiebbar. Zunächst suchte er die absolute Entfernung zu beurtheilen, und zu vergleichen mit der Länge eines in der Hand gehaltenen Maafsstabes. Die Resultate waren folgende:

| Wirkliche Entfernung | Geschätzte Entfernung. |
|---|---|
| 180 cm | 120 cm |
| 160 „ | 92 „ |
| 140 „ | 78 „ |
| 120 „ | 58 „ |
| 100 „ | 48 „ |
| 90 „ | 47 „ |
| 80 „ | 47 „ |
| 70 „ | 37 „ |
| 50 „ | 22 „ |
| 40 „ | 25 „ |

In allen diesen Fällen ist die geschätzte Entfernung kleiner gewesen, als die wirkliche. Ich habe eine ähnliche Versuchsreihe nach etwas abgeändertem Plane und mit dem entgegengesetzten Erfolge gemacht. Dicht vor das Gesicht in die Medianebene hielt ich ein Blatt steifen Papiers und blickte nach einem vertical herabhängenden Faden. Das Papier verdeckte dem rechten Auge alles, was sich links in einigem Abstande neben dem Faden befand, dem linken Auge, was sich rechts neben dem Faden befand. Näherte ich nun von der rechten Seite her einen Bleistift dem Faden, so sah ich diesen nur mit dem rechten Auge, nicht mit beiden. Ich versuchte dann mit dem Bleistift den Faden zu treffen, indem ich ihn schnell vorschob. Dann ging aber immer der Bleistift hinter dem Faden vorbei. Oeffnete ich die vorher geschlossenen Augen, nachdem ich meine Stellung verändert hatte, richtete sie auf den Faden und versuchte dann schnell ihn in der angegebenen Weise zu treffen, so war die Entfernung zwischen Bleistift und Faden gering. Wartete ich länger, indem ich fortdauernd den Faden fixirte, so wurde der Fehler immer gröfser, wohl wegen steigender Ermüdung der inneren Augenmuskeln.

Sehr viel genauer war die Perception der Entfernungsänderung, wenn bei WUNDT's Versuchen der Faden genähert oder entfernt wurde. Die kleinsten wahrnehmbaren Unterschiede waren hierbei:

651

| Entfernung des Fadens vom Auge | Unterscheidungsgrenze für Annäherung | für Entfernung |
|---|---|---|
| 180 cm | 3,5 cm | 5 cm |
| 170 „ | 3 „ | 4 „ |
| 160 „ | 3 „ | 3 „ |
| 150 „ | 3 „ | 3 „ |
| 130 „ | 2 „ | 3 „ |
| 110 „ | 2 „ | 2 „ |
| 80 „ | 2 „ | 2 „ |
| 70 „ | 1,5 „ | 1,5 „ |
| 50 „ | 1 „ | 1 „ |

Bei 180 Centimeter Entfernung ist jedes Auge um 1° 1′ nach innen gewendet, und eine Annäherung des Fadens um 3,5 Centimeter entspricht einer Verschiebung jedes einzelnen Netzhautbildes um 72 Winkelsecunden. Diese Gröfse ist schon an der Grenze des durch das Auge Unterscheidbaren. Bei den geringeren Abständen des Fadens werden dagegen erst gröfsere Winkelverschiebungen bemerkt; bei 50 Centimeter Abstand eine solche von 263 Secunden.

Uebrigens bleibt es bei diesen Versuchen wohl noch zweifelhaft, ob die beiden Augen dem Faden gefolgt und das Netzhautbild auf der Netzhaut ruhend geblieben ist, oder ob die Augen festgehalten wurden und die Verschiebung des Netzhautbildes bemerkt wurde. Die geringere Genauigkeit bei den stärkeren Convergenzen würde dann daraus zu erklären sein, dafs bei vorhandener Convergenzanstrengung die Lage des Augapfels schwerer festzuhalten ist, als bei unangestrengter Parallelstellung.

Die Unvollkommenheit in der Beurtheilung der Entfernung des Fixationspunktes zeigt sich auch, wenn wir bei geschlossenen Augen einen Bleistift in einiger Entfernung vor unserem Gesicht halten und die Augen hinter den Augenlidern auf denselben hinzurichten suchen, so dafs wir ihn fixiren, wenn wir bei unveränderter Augenstellung die Augen öffnen. Meist sind sie dann zu wenig convergent gestellt, und man sieht den Bleistift doppelt, wenn man sie öffnet. Doch gelingt es viel besser sie richtig einzustellen, wie ich schon oben bemerkt habe, wenn man die Spitze des Bleistifts betastet und daran mit der Fingerspitze reibt. Man erhält dann eine deutlichere sinnliche Vorstellung von seinem Orte, und dann gelingt es mir gewöhnlich die geschlossenen Augen so darauf zu richten, dafs ich beim Oeffnen derselben keine Doppelbilder sehe.

Die Unsicherheit, mit der wir den absoluten Grad der Convergenz beurtheilen und danach die absolute Entfernung des fixirten Objects, macht sich in vielen Fällen merklich. Wenn man zum Beispiel ein Blatt Papier, auf dem stereoskopische Bilder gezeichnet sind, in der Hand hält und die Bilder combinirt, so erscheinen dieselben der Regel nach auf oder nahe vor der Fläche des Papiers, dessen Ort wir kennen, zu liegen, während doch die

parallel oder nahe parallel gestellten Blicklinien sich erst in sehr grofser Entfernung hinter dem Papiere schneiden sollten, und dort der scheinbare Ort des körperlich erscheinenden Objects sein sollte. Ebenso gelingt es in der Regel nicht, negative Nachbilder eines hellen Objects zu einer körper-
659 lichen Anschauung zu combiniren; sondern sie erscheinen auf die Oberfläche desjenigen reellen Objects, auf welches die Augen gerade gerichtet sind, projicirt zu sein. Zuweilen indessen, wenn die Nachbilder recht scharf und deutlich sind, und wenn die vorliegende reelle Oberfläche keine hervortretende Zeichnung hat, gelingt es auch wohl das Nachbild mit körperlichen Dimensionen und selbständiger Lage im Raume zu erkennen.

Auch wenn man stereoskopische Zeichnungen im Stereoskop combinirt, wo man aufser ihnen keinen andern Gegenstand sieht, mit dem man die absolute Entfernung des erscheinenden Raumbildes vergleichen könnte, ist man ziemlich unsicher über die absolute Entfernung desselben; und wenn man die Lage des scheinbar gesehenen Objects mit der Hand aufserhalb des Kastens zu bezeichnen sucht, begeht man ähnliche Fehler, wie Wundt sie bei der Schätzung der Entfernung des zweiäugig gesehenen Fadens fand. Blickt man dann abwechselnd über dem Instrumente hinweg und durch dasselbe, so kann man leicht die Lage der Hand mit der des stereoskopischen Raumbildes vergleichen und den Fehler schätzen, den man gemacht hat. Auch hierbei finde ich, wie Wundt, dafs ich meist geneigt bin, das Raumbild für näher zu halten, als es ist. Sehr viel besser als mit der nach dem Gefühl bestimmten Lage der nicht gesehenen Hand pflegt dagegen die Vergleichung mit einäugig rechts und links vom Stereoskop gesehenen Objecten zu gelingen. Die Kästen der Brewsterschen Stereoskope sind meistens nicht so breit, dafs man nicht mit dem rechten Auge einige von den rechts liegenden reellen Objecten, mit dem linken links liegende sehen könnte, deren Entfernung und Gröfse bekannt ist. Trotzdem man diese nur einäugig sieht, und trotzdem die Entfernung des stereoskopischen Raumbildes nur durch das zweiäugige Sehen bestimmt wird, macht man meist ziemlich genaue Bestimmungen, die nicht viel geändert werden, wenn man nachher das Raumbild mit zweiäugig über oder unter dem Stereoskop gesehenen reellen Objecten vergleicht.

Dieses letztere Verfahren zeigt, dafs die Beurtheilung der Entfernung nach der Convergenz der Gesichtslinien unter günstigen Umständen und wenn sie durch keinerlei beirrende Einflüsse gestört wird, ziemlich gute Resultate giebt. Aber es ist eines derjenigen Momente der Beurtheilung, welches leicht überwogen wird durch andere, die ihm widersprechen, wie in dem vorher citirten Beispiele der Bilder, die sich auf eine Fläche von bekannter Entfernung projiciren.

Auch die sogenannten Tapetenbilder[1] zeigen unzweideutig den Einflufs der Convergenz. Wenn man nämlich nach einer Tapete, deren

[1] H. Meyer in Roser und Wunderlich's *Archiv*. 1842. Bd. I. — D. Brewster in *Philos. Magaz.* XXX, 305.

Muster sich gleichmäfsig wiederholt, mit convergenten Blicklinien hinsieht, so gelingt es bei gewissen Graden der Convergenz entsprechende Theile des Musters zur Deckung zu bringen, entweder das erste mit dem benachbarten zweiten, oder auch das erste mit dem dritten oder vierten. Man sieht alsdann ein verkleinertes Bild der Tapete, welches, dem Beobachter näher, scheinbar in der Luft schwebt, desto näher und kleiner, je gröfser die Convergenz ist. Wenn hierbei jeder Theil des Musters sich mit nächst- 653
benachbarten gleichen deckt, ist das Bild nicht so klein und nah, als wenn er sich mit dem dritten oder vierten gleichen deckt.

Die Vorstellung von der Entfernung des so gesehenen Tapeten-Musters »
hat etwas Unbestimmtes; sie ist nicht sehr deutlich und wird geändert, sowie noch andere Gegenstände auf der Tapete vorhanden sind — Bilder, Nägel u.s.w. —, welche die regelmäfsige Periodicität des Musters stören.

Wenn man sich nun ein solches Tapetenbild entwirft und dann den Kopf etwas von rechts nach links, oder von oben nach unten oder von vorn nach hinten verschiebt, so tritt eine scheinbare Bewegung des Tapetenbildes ein. Hingegen macht das reelle Object, welches man mit richtig gestellten Augenaxen binocular anschaut, keine derartige Bewegung; bei diesem sind wir darauf eingerichtet, wir erwarten die Winkelverschiebung, welche dasselbe erleidet, wenn wir unsern Kopf willkürlich verschieben. Solange hierbei die scheinbaren Bewegungen des reellen Objectes die uns gewohnten Grenzen und Verbindungen einhalten, beurtheilen wir das Object als ruhend. Bei den Tapetenbildern wird die Combination gelöst. Also selbst eine ruhende Convergenz, welche auf eine bestimmte Entfernung eingerichtet ist, wird hierbei deutlich und fein unterschieden von dem andern Grade der Convergenz, der der wirklichen Lage des Objectes entsprechen würde. Ich habe hierbei gefunden, dafs in diesem Falle in der That die vorhandene Convergenz mit recht grofser Genauigkeit den Erfolg bestimmt, und dafs mit recht grofser Sicherheit die nicht objective Natur des Tapetenbildes sich verräth, indem jede Bewegung des Kopfes eine scheinbare Winkelbewegung des Bildes hervorruft. Bei Convergenz der Blicklinien auf einen Punkt, der hinter der Ebene der Tapete liegt, bewegen sich die Tapetenbilder stets nach entgegengesetzter Richtung als der Kopf; bei Convergenz auf einen Punkt vor der Ebene der Tapete bewegen sie sich in derselben Richtung wie der Kopf.

Diese leicht zu machenden Beobachtungen scheinen mir von einiger Wichtigkeit zu sein, um die Schätzung derjenigen Momente zu geben, von denen die Beurtheilung der Entfernung gesehener Objecte abhängt.

Hierhin gehört auch der Fall, wo stereoskopische Bilder vereinigt werden, 653
deren correspondirende Punkte weiter von einander entfernt sind als die Mittelpunkte der Augen, die also nur bei divergenter Richtung der Blicklinien vereinigt werden können. Beobachter, welche wenig in der Erzeugung divergenter Augenstellungen geübt sind, erreichen dies am besten, wenn sie zwei zusammengehörige stereoskopische Zeichnungen auseinander schneiden, sie dann in ein gewöhnliches Stereoskop einlegen und sie nun langsam von

einander entfernen, während sie sie fortdauernd vereinigt zu sehen suchen. Oder man zeichnet, wie ROLLET[1] und BECKER thaten, unter einander auf einem Papier eine Reihe von stereoskopischen Figuren, die einander einzeln congruent sind, aber immer weiter auseinander rücken. Die genannten Beobachter haben eine Reihe von Figuren gegeben, deren jede einzelne einen gröſseren Kreis, vor dessen Fläche ein kleinerer liegt, stereoskopisch darstellen. Die Mittelpunkte der kleinen Kreise des nächstfolgenden Paars sind immer so weit von einander entfernt, wie die der groſsen des vorausgehenden Paars. Hat man also die letzteren vereinigt, so vereinigen sich auch die kleinen Kreise des nächsten Paars von selbst; von denen gelangt man zur Vereinigung der groſsen dieses selben Paars, von diesen zur Vereinigung der kleinen eines dritten Paars und so fort. Die Mittelpunkte des ersten Paars kleiner Kreise sind 44 Millimeter distant, die der letzten groſsen 93 Millimeter, und doch kann ich bei einer Augendistanz von 68 Millimeter auch die letzteren in 30 Centimeter Abstand vereinigen.

In solchen Fällen können sich die Blicklinien nun in gar keinem Punkte des vor uns gelegenen Raums schneiden, sondern nur hinter unserem Kopfe, und dennoch glauben wir ebenso gut, wie bei richtiger Distanz der Bilder, ein stereoskopisches Raumbild vor uns zu haben. Höchstens werden wir durch das Gefühl ungewöhnlicher Anstrengung unserer Augen benachrichtigt, daſs dieselben eine ungewöhnliche Stellung haben. Und wenn wir ein stereoskopisches Raumbild, welches mit divergenten Sehaxen betrachtet wird, vergleichen mit reellen sehr entfernten Objecten, die über dem Stereoskop sichtbar sind, einer weit entfernten Bergkette zum Beispiel, so erscheint uns jenes Raumbild nur eben noch sehr viel weiter entfernt, als die entferntesten reellen Objecte.

Auch wenn wir reelle ferne Objecte durch zwei Prismen ansehen, von etwa vier Grad brechendem Winkel, deren brechende Kanten nach auſsen gekehrt sind, so müssen wir sie mit divergenten Gesichtslinien betrachten, und sie erscheinen uns wohl etwas entfernter, als mit bloſsen Augen, im Ganzen aber doch nicht viel anders. Das unendlich Entfernte macht sich in unseren Gesichtsanschauungen eben nicht geltend als eine Grenze, die nicht überschritten werden könnte. Abnehmende Convergenz der Gesichtslinien ist für uns ein Zeichen wachsender Entfernung des Objects. Diesem Zeichen
654 gemäſs urtheilen wir auch, wenn die Convergenz bis zu negativen Werthen abnimmt, obgleich dann kein vor uns liegender reeller Raumpunkt solcher Convergenz mehr entspricht. Selbst wenn wir durch das Gefühl mehr oder weniger sicher wahrnehmen sollten, daſs wir mit einer Augenstellung sehen, die bei der normalen Betrachtung wirklicher Objecte nie vorgekommen ist, so würden wir den Eindruck nach der Regel, der wir bei abnormen Sinneseindrücken zu folgen pflegen, doch immer nur vergleichen können demjenigen, welcher ihm am ähnlichsten ist und sich nur durch geringere Convergenz

---

[1] A. ROLLET, *Wiener Sitzungsberichte*. 10. Mai 1861. Bd. XLIII. — Combination bei divergenten Gesichtslinien auch schon früher ausgeführt durch BURCKHARDT in *Verhandl. d. naturforsch. Ges. zu Basel*. I, 145.

der Gesichtslinien davon unterscheidet, dem Eindruck weit entfernter reeller Objecte auf das Auge.

Wegen der Unvollkommenheit, mit der wir den Grad der Convergenz beurtheilen, können nun auch Täuschungen in der Beurtheilung der zweiäugig gesehenen Raumformen vorkommen, indem wir eine Interpretation der Gesichtserscheinungen machen, welche für eine andere Convergenz passend wäre, aber nicht für die wirklich stattfindende richtig ist. Am auffallendsten ist dies an solchen Gegenständen, deren Netzhautbilder bei verschiedenen Graden der Convergenz gleich guten Sinn haben würden. Man befestige zum Beispiel an einem hoch über und vor unserem Auge gelegenen horizontalen Querbalken in einigen Zollen Entfernung von einander drei Nägel, hänge an diesen drei feine schwarze Seidenfäden mittels loser weiter Schleifen auf und spanne sie durch kleine Gewichte. Zunächst richte man die Fäden so, dafs alle drei in einer Ebene hängen. Dann setze man sich gerade vor die Fäden um Armeslänge von ihnen entfernt, so dafs der mittlere in der Medianebene des Gesichtes liegt und die Ebene der Fäden senkrecht zu dieser Medianebene sei. Hinter den Fäden mufs sich in gröfserer Entfernung ein gleichmäfsig gefärbter Grund ohne besonders markirte Punkte befinden. Man betrachte die Fäden aufmerksam, ob sie wohl wirklich in einer Ebene zu liegen scheinen; es zeigt sich dann, dafs der mittlere scheinbar von der Ebene der beiden andern sich befindet, desto mehr je näher man das Gesicht den Fäden bringt. Nun schiebe man den mittleren Faden etwas zurück, so dafs die Fäden in einer gegen den Beobachter concaven Cylinderfläche liegen, und setze sich wieder davor. Betrachtet man sie nun aus gröfserer Entfernung, so erscheinen sie in einer gegen den Beobachter concaven Fläche zu liegen; nähert man sich mehr, so wird diese eben, endlich bei noch gröfserer Annäherung tritt der mittlere Faden, obgleich er hinter der Ebene der beiden andern liegt, scheinbar vor die Ebene der beiden andern nach vorn heraus. Die Entfernung, aus der die Fäden als eine Ebene erscheinen, ist für verschiedene Beobachter sehr verschieden. Herr E. Hering, der diesen Versuch durch Anwendung von Fäden verbessert hat, nachdem ich ihn schon zuvor mit Nadeln in der oben beschriebenen Weise ausgeführt hatte, findet, dafs er sich um die ganze Länge des Durchmessers des durch die Fäden zu legenden geraden kreisförmigen Cylinders entfernen müsse, um die Fäden in einer Ebene zu sehen, und bringt dies mit seiner Horoptertheorie in Zusammenhang, wovon weiter unten mehr. Ich selbst sehe aus einer solchen Entfernung die Fläche der Fäden noch deutlich concav gegen mich hin, ebenso die Hrn. Berthold, Bernstein und Dastich, die in meinem Heidelberger Laboratorium darüber Versuche anstellten. Die Hrn. Berthold und Dastich mufsten sich bis etwa zur Hälfte jenes 655
Durchmessers nähern, ich selbst noch mehr, nämlich auf etwa $^3/_{10}$, ehe ich die Fäden in einer Ebene erblickte; am nächsten mufste Hr. Bernstein herangehen. Das Verhältnifs blieb für verschiedene Entfernungen der Fäden von einander und für verschiedene Abstände des mittleren Fadens von der

Ebene der beiden andern ziemlich dasselbe, so daſs Herr Dr. Berthold die Fäden immer dann nahehin eben sah, wenn seine Nasenwurzel etwa in der Axe des Cylinders sich befand, der durch die Fäden zu legen ist, ich selbst aber immer bis nahe, aber nicht ganz zur Mitte des Radius, oder bis auf ein Viertel des Durchmessers herangehen muſste.

Dabei zeigte sich auch ein Einfluſs der Ermüdung der Augen, indem nämlich beim ersten Uebergang aus paralleler Richtung zur Convergenz auf die Fäden der Fehler in der Beurtheilung ihrer Lage kleiner ausfällt, und man näher heran zu gehen geneigt ist, um sie eben zu sehen. Bei länger andauernder Convergenz aber tritt dann der mittlere Faden etwas vor, und man muſs wieder weiter zurückgehen.

Hier sind einige Beobachtungsresultate, für mein Auge bei längerer Betrachtung erhalten:

| Abstand der beiden äuſseren Fäden von einander | Abstand des mittleren von der Ebene der beiden andern | Durchmesser des Cylinders | Distanz, in der ich die Fäden in einer Ebene sah | Distanz in Theilen des Durchmessers. |
|---|---|---|---|---|
| 256 mm | 10,5 mm | 1571 mm | 450 mm | 0,286 mm |
| 256 „ | 6 „ | 2737 „ | 730 „ | 0,267 „ |
| 117 „ | 4,2 „ | 819 „ | 237 „ | 0,289 „ |
| 117 „ | 8,1 „ | 429 „ | 129 „ | 0,301 „ |
| 120 „ | 2 „ | 1802 „ | 550 „ | 0,305 „ |

Die Täuschung bei diesen Versuchen erklärt sich aus der oben bemerkten Thatsache, daſs, wenn wir nur nach der Convergenz der Gesichtslinien die Entfernung beurtheilen, wir dieselbe gewöhnlich für kleiner halten, als sie wirklich ist, und sie überhaupt unsicher beurtheilen.

Wenn wir nun auf eine senkrechte durch senkrechte parallele Linien eingetheilte Ebene blicken, so erscheinen die nach rechts hin gelegenen Streifen derselben dem rechten Auge unter gröſserem Gesichtswinkel als dem linken, weil sie erstens jenem Auge näher sind, und weil zweitens seine Gesichtslinie die genannten Streifen unter einem weniger spitzen Winkel trifft, als die des linken Auges. Umgekehrt erscheinen die nach links gelegenen Streifen dem linken Auge breiter, als dem rechten. Je näher die Augen der besagten Ebene kommen, desto gröſser werden die Differenzen der Gesichtswinkel für den gleichen Streifen. Um nun entscheiden zu können, ob die wahrgenommenen Differenzen dieser Art der Projection einer ebenen Fläche oder einer gekrümmten angehören, müſste man die Entfernung des Objects nach der Convergenz der Gesichtslinien sehr genau schätzen können. Denn die gleichen Differenzen der beiderseitigen Bilder würde auch ein entfernteres Object zeigen können, wenn es gegen den Beobachter convex wäre, oder ein näheres, wenn es gegen den Beobachter concav wäre. Daſs wir nun das gesehene zweiäugige Bild bei den beschriebenen Versuchen
656 so interpretiren, als gehörte es einem entfernteren Objecte an, rührt, wie ich glaube, nicht oder wenigstens nicht allein davon her, daſs wir die

Entfernung des Objects unter ähnlichen Umständen meist als zu grofs schätzen, wie die oben beschriebenen Versuche bei dem Zielen mit dem einäugig gesehenen Bleistift auf den zweiäugig gesehenen Faden zeigen; denn in der That müfste der Irrthum über die Entfernung gröfser sein, als er wirklich sich bei jenen Versuchen herausstellt, wenn er die gleiche Aenderung in der scheinbaren Form des Raumbildes geben sollte. So würden wir in dem ersten Falle der auf Seite 802 gegebenen Beobachtungen die Entfernung auf 627 Millimeter statt auf 450, in dem dritten auf 350 statt auf 237 schätzen müssen. So grofs habe ich die Irrthümer nie gefunden. Ich glaube vielmehr, dafs wir hier eine falsche Auslegung machen, weil ein anderer Umstand wegfällt, der sonst unser Urtheil unterstützt. Wenn wir nämlich nicht blos gleichmäfsig fortlaufende gerade Linien in ähnlicher Lage wie die Fäden bei dem zuletzt beschriebenen Versuche vor Augen haben, sondern Linien, welche deutlich sichtbare Merkpunkte darbieten, oder Objecte, an denen auch horizontale Grenzlinien vorkommen, so erscheinen uns die verticalen Längen, welche dem rechten Auge näher liegen, unter gröfserem Gesichtswinkel, als dem linken Auge und umgekehrt.

Dafs diese Unterschiede in den verticalen Dimensionen für beide Augen in Betracht kommen, zeigt evident die Vergleichung der stereoskopischen Figuren auf *Taf. III A* und *B*. Das Figurenpaar *A* zeigt die beiden Projectionen einer nahe vor dem Gesicht befindlichen, schachbrettartig gemusterten Ebene und erscheint als Ebene. Das Paar *B* dagegen zeigt die beiden Projectionen einer schachbrettartig gemusterten, weit entfernten und cylindrisch gekrümmten Fläche und erscheint als solche. Nun sind die verticalen Linien in dem einen Paar Zeichnungen genau so weit von einander entfernt, wie die entsprechenden verticalen Linien in dem andern Paare von Zeichnungen. Wenn also die scheinbare Krümmung nur von der gegenseitigen Lage der verticalen Linien abhinge, wie man bisher meist vorausgesetzt hat,[1] so müfsten beide Zeichnungen genau dieselbe Flächenkrümmung darbieten. An und für sich entspricht die relative Lage der verticalen Linien aber ebenso gut einem nahe liegenden ebenen, wie einem entfernteren convexen Schachbrett, und erst die Führung der queren Linien giebt für die eine oder andere Deutung den Ausschlag. Umgekehrt sind in *Taf. III Fig. C* die horizontalen Distanzen der Verticallinien überall gleich grofs, die begrenzenden Querlinien aber gekrümmt und am äufsern Rande der Figuren weiter von einander entfernt, als am innern, wie es in den Bildern einer nahen concaven Fläche der Fall sein würde. Aus der Combination beider Zeichnungen entsteht auch wirklich das binoculare Bild einer gegen den Beobachter concaven Fläche, trotz paralleler Stellung der Blicklinien, die einem nahen Objecte nicht entspricht. Wenn wir hier nur nach den Unterschieden in horizontaler Richtung urtheilen wollten, die ganz fehlen, so müfste *C* als ein ebenes Schachbrett erscheinen. Die unpassende Convergenz

[1] Und wie es namentlich Herr E. Hering als Grundgesetz des binocularen Sehens ausgesprochen hat.

geschnitzten Papierschneider, und selbst wenn ich seinen am stärksten gekrümmten Rand den Fäden zuwendete, liefs er die Täuschung über deren Stellung fast ganz schwinden.

Da es sehr schwierig ist, aufser durch Maschinen eine hinreichend genaue Uebereinstimmung der verticalen Linien in stereoskopischen Bildern hervorzubringen, habe ich Versuche über den Einflufs der Convergenz noch in folgender Weise angestellt. Ich habe zwei rechtwinkelige Prismen neben
einander befestigt, so dafs ihre Querschnitte wie die rechtwinkeligen Dreiecke 658
in *Fig. 234* liegen, dafs ihre Kanten einander parallel und zwei ihrer Kathetenflächen unter einem kleinen Winkel $\alpha$ gegen einander geneigt sind. Trifft der Strahl $af$ bei $b$ nahehin senkrecht auf eine Kathetenfläche solcher Prismen, so wird der Strahl zwei Mal bei $c$ und $d$ reflectirt, wie die Figur anzeigt, und tritt schliesslich aus der letzten Fläche in der Richtung $eg$ von seiner ersten Richtung aus um einen Winkel abgelenkt, der das Doppelte des Winkels $\alpha$ beträgt.[1] Wenn man in der angegebenen Weise durch ein solches Doppelprisma bei senkrechter Stellung seiner Kanten blickt, so sieht man genau dasselbe Netzhautbild, wie mit blofsem Auge, aber um es zu sehen, mufs man das Auge etwas mehr nach rechts oder links wenden, als es ohne das Prisma nöthig wäre.

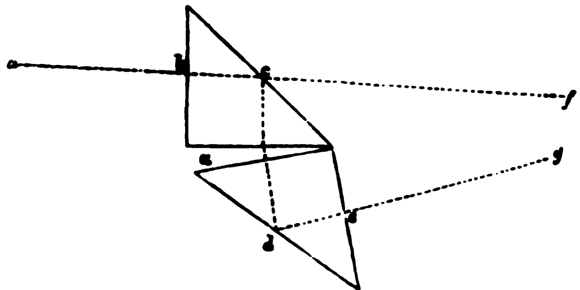


*Fig. 234.*

Blickt man durch ein solches Prisma nach drei parallelen verticalen Fäden, die in einer Ebene sich befinden und deren mittelster daher den unbewaffneten Augen ein wenig vor die Ebene der beiden anderen vorzutreten scheint, so mufs man die Augen, je nachdem man die Fläche $b$ oder $e$ des Prisma ihm zukehrt, mehr convergiren oder mehr divergiren lassen, als vorher, sieht aber genau dieselben Netzhautbilder. Im Falle die Divergenz vergröfsert wird, erscheint der mittlere Faden noch stärker vortretend als bisher; im Falle die Convergenz vermehrt wird, tritt er in die Ebene der andern scheinbar zurück, oder sogar hinter dieselbe. Da die Prismenzusammenstellung eine ganz geringe telestereoskopische Wirkung hat, so bringe man für Convergenz die Fläche $e$ vor das rechte, für Divergenz $b$ vor das rechte Auge; oder man bringe nach einander beide Flächen vor das

[1] Es ist hierbei keine Verzerrung des Bildes durch die Brechung an den Glasflächen zu fürchten, wie sie bei schiefwinkeligen Prismen vorkommt und bei stereoskopischen Versuchen sehr störend werden kann, weil die Veränderungen nur derselben Art sind, wie sie beim Sehen senkrecht durch eine dicke planparallele Glasplatte vorkommen; in der Mitte des Bildes verschwindend klein und nach den Seiten hin symmetrisch, so daß sie bei den hier zu machenden Versuchen nicht stören können.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible] werden. Die Krümmung der [illegible] bedingt die scheinbare Concavität derselben.

Kehrt man die scharfe Kante des Prisma nach außen, so erscheinen ebene Objecte im Gegentheil convex gegen den Beobachter.

Mit den hier betrachteten Erscheinungen, wobei zweiäugige Bilder von Objecten bei bald vermehrter, bald verminderter Convergenz der Augen gebildet werden, hängt auch die Möglichkeit zusammen. Reliefbilder

der Objecte zu construiren, welche bei geringerer Entfernung und bei geringeren Tiefendimensionen als das Original doch den Eindruck des letzteren nach seinen wirklichen Formen und Dimensionen, seiner wirklichen Beschattung, und zwar nicht nur für monoculare, sondern selbst für binoculare Betrachtung nachahmen, indem sie annähernd auch dieselben Unterschiede beider Netzhautbilder herstellen, wie sie die Betrachtung des Originals selbst ergeben würde. Eben deshalb ist ein Reliefbild aus dem richtigen Standpunkte angesehen eine sehr viel vollkommenere Art der Nachahmung, wenigstens der Form des Objects, als es das vollkommenste ebene Bild je sein kann. Es gehören dahin nicht nur die Basreliefs und Hautreliefs der Sculptur, welche menschliche Köpfe, Figuren und Figurengruppen darstellen, sondern auch Theaterdecorationen, welche Landschaften oder Zimmer, Kirchenportale, welche perspectivisch verkürzte Säulenhallen darstellen u. s. w.

Man kann die empirisch von den Künstlern[1] gefundenen Regeln der 660
Reliefconstructionen aus einem einfachen stereoskopischen Versuche herleiten. Man bringe eine stereoskopische Doppelzeichnung, deren beide Bilder aber auf getrennten Papierstücken ausgeführt sind, zunächst in solcher Lage zur Vereinigung, dafs sie bei richtig gewähltem Convergenzgrade der Augen gerade denselben Anblick wie das Original gewähren. Dann nähere man beide Bilder einander, aber so, dafs beide in derselben Ebene bleiben. Dabei wächst die Convergenz der Gesichtslinien, während die Netzhautbilder der beiden Bilder keine, oder wenigstens nur sehr kleine Veränderungen erleiden, und der sinnliche Eindruck bleibt also, abgesehen von der verhältnifsmäfsig undeutlichen Wahrnehmung der vermehrten Convergenz, fast derselbe wie zuvor. Denken wir uns nun das Object construirt, welches in der neuen Lage der Bilder diesen entsprechen würde, so ist dieses ein Reliefbild des Originalobjects. An dem Relief ist zu unterscheiden eine Hauptebene (Ebene des Hintergrundes), in die alle die unendlich weit entfernten Punkte des Originals zu liegen kommen, und eine ihr parallele Congruenzebene, in der die Punkte liegen, die mit ihrem Bilde zusammenfallen. Wenn das Relief dem Beschauer das Original in natürlicher Gröfse darstellen soll, mufs die Congruenzfläche durch die Augen des Beschauers gehen. Will man dagegen den Anblick des Originals nicht in natürlicher Gröfse, sondern den eines verkleinerten oder vergröfserten Modells desselben wiedergeben, so kann die Congruenzfläche auch anders gelegt werden, so dafs der Gesichtspunkt, welcher den Mittelpunkt beider Augen des Beobachters repräsentirt, nicht in ihr liegt.

Alle Ebenen des Originals bleiben im Reliefbild Ebenen, alle geraden Linien bleiben gerade Linien.

Alle Ebenen des Originals und alle geraden Linien, die der Congruenzfläche parallel sind, bleiben dieser und sich selbst parallel auch im Relief.

[1] J. A. Breysig, *Versuch einer Erläuterung der Reliefperspective*. Magdeburg 1798.

Alle anderen einander parallelen Ebenen des Originals schneiden sich im Relief in einer geraden Linie des Hintergrundes.

Alle parallelen Geraden des Originals, die nicht der Congruenzfläche parallel sind, schneiden sich in einem Punkte des Hintergrundes.

Alle Ebenen und Geraden, die durch den Gesichtspunkt gehen, behalten ihre Lage bei auch im Reliefbild.

Endlich, wenn $f$ und $\varphi$ die Abstände beziehlich eines Punktes des Originals und seines Bildes von der Congruenzfläche bezeichnen und $g$ den Abstand des Hintergrundes von der Congruenzfläche, so ist

$$\frac{1}{\varphi} - \frac{1}{f} = \frac{1}{g}$$

die Gleichung, welche den Abstand $\varphi$ giebt; dieselbe, welche den Abstand des Bildes $\varphi$ von einer Concavlinse von der Brennweite $-g$ ergeben würde.

Ganz wie in den Bildern einer solchen werden die Bilder entfernter Gegenstände sehr nahe zusammengerückt, während die von näheren
661 Objecten relativ gröfsere Tiefendimensionen erhalten. Eine Concavlinse zeigt also ein richtig construirtes Reliefbild der durch sie gesehenen Objecte.

Wenn man die Congruenzebene und die Ebene des Hintergrunds zusammenfallen läfst, so wird aus dem Reliefbild ein perspectivisches ebenes Bild.

In den Reliefbildern werden gleich gut wahrnehmbare Theile der Tiefendimensionen dargestellt durch gleich grofse Tiefenunterschiede; und in diesem Sinne können wir sagen, dafs wir die objective Welt binocular wie in einem Reliefbild sehen. Wie in einem solchen sind selbst grofse Abstände sehr entfernter Gegenstände von einander, in Richtung der Tiefe genommen, nur sehr schwach wahrnehmbar, während selbst kleine Tiefenabstände naher Objecte deutlich ausgedrückt sind.

Schliefslich habe ich noch gewisse Fehler zu besprechen, welche bei der Beurtheilung von Linienrichtungen beim zweiäugigen Sehen eintreten, und auf welche E. Hering aufmerksam gemacht hat. Wenn man nämlich nach einem langen vertical hängenden Faden hinsieht, der sich vor einer entfernteren gleichmäfsig angestrichenen Wand befindet, welche keine deutlich sichtbaren Merkpunkte oder Linien darbietet, nach denen man sich über die Lage der Verticale oder Horizontale orientiren könnte, den Faden selbst aber so lang macht, dafs man seinen oberen und unteren Endpunkt nicht sehen kann, oder aber ihn durch einen Hohlcylinder von der Breite des Gesichts hindurch betrachtet, der den Anblick seiner Enden und seitlicher Gegenstände ausschliefst, so kann man bei zweiäugiger Betrachtung doch noch beurtheilen, ob der Faden wirklich vertical sei oder nicht, und wenn er nicht vertical erscheint, ihn durch Verschiebung seines unteren Endes vertical zu machen suchen. Dabei zeigt es sich, wie ich übereinstimmend mit Hering[1] finde, dafs, wenn bei der gewählten Kopfstellung die horizontale

[1] E. Hering, *Beiträge zur Physiologie.* Heft V. S. 297.

Visirebene sich in ihrer Primärlage und der Faden sich in der Medianebene befindet, der wirklich verticale Faden auch für vertical gehalten wird. Wenn man dagegen den Kopf nach hinten übergebeugt hat, so dafs die Visirebene unterhalb ihrer Primärlage sich befindet, während der Faden in der Medianebene bleibt, so mufs man das untere Ende des Fadens vom Beobachter entfernen. Ist umgekehrt der Kopf vornübergeneigt und die Visirebene über ihrer Primärlage, so mufs man das untere Ende des Fadens dem Beobachter nähern, damit der Faden vertical erscheine.

Wenn der Faden sich nicht in der Medianebene befindet, sondern rechts von derselben, so erscheint er bei aufrechter Kopfhaltung, wenn die horizontale Visirebene in ihrer Primärlage befindlich ist, wieder vertical, wenn er wirklich vertical ist, und wieder mufs sein unteres Ende genähert werden, wenn der Kopf vorn übergebeugt wird. Um die Ebene annähernd zu bestimmen, in der er geneigt werden mufs, um vertical zu erscheinen, habe ich um den unteren Theil des Fadens einen zweiten gelegt, der eine lose Schlinge bildete, und mittels dieses zweiten den ersten so an mich herangezogen, dafs jener vertical schien. Wenn ich dann nach dem horizontalen Faden herabblickte, wobei der verticale in stark divergirenden Doppel-
bildern erscheint, halbirte gewöhnlich der horizontale den Winkel dieser 662
Doppelbilder, woraus folgt, dafs der vertical erscheinende Faden, wenigstens nahehin, soweit die hier erreichbare Genauigkeit zu beurtheilen zuläfst, in der den Convergenzwinkel halbirenden Verticalebene liegen mufste.

Bei hinten übergeneigtem Kopfe dagegen mufste ich das untere Ende des Fadens von mir wegziehen, wobei die Richtung des ziehenden Fadens aber, so weit erkennbar, dieselbe blieb, wie vorher.

Die Erklärung dieser Thatsachen scheint mir zusammenzuhängen mit dem im vorigen Paragraphen Seite 755 und 756 erwähnten Umstande, dafs bei convergirenden Augen die Richtung und Lage der gesehenen Objecte so beurtheilt wird, als wenn das Auge eine der mittleren Sehrichtung parallele Richtung und die entsprechende Raddrehung hätte. Die stattfindende Convergenz der Augen wird hierbei nicht berücksichtigt. Wenn wir dies auf den hier vorliegenden Fall übertragen, so würde folgen, dafs *diejenigen Linien vertical zur Visirebene erscheinen, welche sich abbilden auf solchen Meridianen des Auges, welche bei der Stellung des Auges parallel der mittleren Sehrichtung wirklich vertical sein würden zur Visirebene.*

Wenn der Fixationspunkt in der Medianebene liegt, so wird die mittlere Sehrichtung der Medianebene parallel sein, und bei Augen, die dem LISTING'schen Gesetze folgen, keine Drehung um ihre Längsaxe bedingen. Also werden die in der Primärstellung zur Visirebene verticalen Meridiane auch bei geneigter Visirebene zu dieser normal sein, so lange die Augen der mittleren Sehrichtung, also der Medianebene parallel gerichtet sind. Geht man aber zur Convergenzstellung über, so werden sie bei nach unten geneigter Visirebene sich so drehen, dafs die vorher senkrechten Median-

ebenen derselben nach oben hin convergiren, umgekehrt bei nach oben geneigter Visirebene. Die Schnittlinie jener beiden Meridianebenen würde die scheinbar zur Visirebene senkrechte Linie sein, welche im ersteren Falle nach oben, im andern nach unten sich dem Beobachter nähert.

Bei den seitlich nach unten oder oben geneigten Blickrichtungen sind aber nicht mehr dieselben Meridiane der Augen zur Visirebene normal, wie in der Primärstellung. Dafs auch der scheinbar verticale Faden sich in beiden Augen nicht auf den in der Primärstellung verticalen Meridianen abbildet, kann man leicht erkennen, wenn man gerade vor sich an der Wand einen verticalen Streifen befestigt, der deutliche Nachbilder liefert. Diese Nachbilder bilden dann zum Theil sehr grofse Winkel mit dem scheinbar verticalen Faden, sobald man diesen fixirt. Der scheinbar verticale Faden scheint also hier zu liegen in denjenigen Meridianen, welche bei der der mittleren Sehrichtung parallelen Blickrichtung vertical sein würden.[1]

Zu bemerken ist aber, dafs nach VOLKMANN's Versuchen, die ich selbst bestätigt finde, bei mangelnder Raddrehung und monocularem Sehen die
663 scheinbar zum Netzhauthorizont verticalen Meridiane auch absolut vertical erscheinen, während beim binocularen Sehen die verticale Linie entsprechen mufs den beiden zur Visirebene absolut verticalen Meridianen. Beim binocularen Sehen hebt sich also der einander entgegengesetzte Einflufs, den die Neigung der scheinbar verticalen Meridiane beider Augen auf die Beurtheilung der Stellung einer Senkrechten haben könnte, gegenseitig auf. Dafs dies für die Neigungen nach rechts und links hin geschieht, erklärt sich leicht; zu bemerken aber ist, dafs für die Beurtheilung der Neigung der gesehenen Linie nach vorn- oder nach hintenüber die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane ohne Wirkung bleibt. Wir werden im nächsten Paragraphen sehen, dafs diese Abweichung sich wahrscheinlich an der Anschauung horizontaler Linien erzeugt hat, und daraus erklärt sich dann, dafs sie uns nicht über verticale Linien täuscht.

Ein ähnlicher Irrthum über die Tiefendistanz kommt nun übrigens nicht blos bei solchen Linien vor, die durch den Fixationspunkt gehen und in der Medianebene liegen, sondern auch bei anders gerichteten Linien, die durch den Fixationspunkt gehen und nur nahehin senkrecht zur mittleren Sehrichtung sind. Die scheinbare Lage solcher Linien entspricht dem vorher aufgestellten Gesetze. Wir deuten sie so, als wenn wir dieselben Netzhautbilder erhalten hätten bei einer Stellung der Augen, parallel der mittleren Sehrichtung.

In dieser Beziehung hat RECKLINGHAUSEN gezeigt, dafs, wenn man auf einer ebenen Fläche einen Stern zeichnet, aus einer Anzahl von Linien

---

[1] Herr E. HERING hat diese Erscheinungen mit der Horopterlehre in Verbindung gebracht, wovon im folgenden Paragraphen mehr. Ich bemerke, dafs die vertical zur Visirebene erscheinenden Linien bei mir nie im Horopter liegen, sondern stets in gekreuzten Doppelbildern erscheinen. Da bei Herrn HERING's Augen die Abweichung der zum Netzhauthorizont wirklich und scheinbar verticalen Meridiane fehlt oder sehr gering ist, so wird seine Regel für sein Auge, wenigstens in den Medianstellungen, von denen er spricht, individuelle Richtigkeit haben.

bestehend, die sich in einem Punkte schneiden, und man diesen Mittelpunkt fest mit nach oben gerichtetem Blick fixirt, die nach oben gerichteten Strahlen des Sterns in einer concaven Kegelfläche zu liegen scheinen, die nach unten gerichteten in einer convexen; umgekehrt, wenn man den Kreuzungspunkt der Strahlen mit nach unten gerichtetem Blicke fixirt. Ich finde die Täuschung noch auffallender, wenn man die nahehin horizontalen Strahlen wegläfst und statt der auf Papier gezeichneten Linien feine glatte Drähte benutzt, die man in einem Korke so feststeckt, dafs sie von einem Punkte aus divergiren und in einer Ebene liegen.

Der Theorie nach, welche aus dem oben angeführten Gesetze hergeleitet ist, müssen die besagten Linien scheinbar in einer Kegelfläche zweiten Grades liegen, deren Spitze im Fixationspunkte liegt, die ferner durch die beiden Blicklinien geht und deren Durchschnitt mit der durch die Mittelpunkte der Augen senkrecht zur Visirebene gelegten Ebene eine Ellipse ist, deren verticale Axe etwas gröfser ist, als die horizontale.

Recklinghausen hat auch durch Versuche die Lage solcher Linien ermittelt, die zur mittleren Sehrichtung bei gehobenem oder gesenktem Blicke senkrecht erschienen. Er benutzte dazu einen feinen glatten Draht, der in der Mitte mittels eines feinen Charniergelenks so verstellt werden konnte, dafs er verschiedene Neigung gegen die mittlere Sehrichtung (Halbirungslinie des Convergenzwinkels) erhielt. Das Gelenk, was ihn trug, war andererseits an einer runden Eisenstange befestigt, welche in der Verlängerung der mittleren Sehrichtung lag und um ihre Längsaxe gedreht werden konnte. Durch Drehung um diese Axe konnte der Ebene, in welcher der Draht sich bewegte, verschiedene Neigung gegen die Visirebene gegeben und bei jeder Stellung dieser Ebene die Stellung des Drahtes gesucht werden, 664
bei welcher sein oberes und unteres Ende gleich weit vom Beobachter entfernt schien.

Die Theorie fordert für die genannten Lagen des Drahtes wiederum eine durch den Fixationspunkt und die Blicklinien gehende Kegelfläche zweiten Grades. Die Messungen von Recklinghausen stimmten sehr gut mit dieser Folgerung der Theorie. Er nannte diese Fläche die Normalfläche, weil in ihr die zur mittleren Sehrichtung scheinbar normalen Linien liegen.

Diese Normalfläche würde für solche Augen, welche keine Abweichung des scheinbar verticalen Meridians haben, mit der im nächsten Paragraphen zu untersuchenden Horopterfläche für Linien, die durch den Fixationspunkt gehen, zusammenfallen. Dagegen ist sie mit dieser nicht identisch bei Augen, deren scheinbar verticale Meridiane nicht mit den wirklich verticalen zusammenfallen,[1] wie sich weiter unten zeigen wird.

Wenn man ein System concentrischer Kreise auf ein Blatt zeichnet und

[1] Recklinghausen selbst hat diesen Unterschied nicht gemacht; denn obgleich er die Abweichung des scheinbar verticalen Meridians entdeckt hat, hat er den Einflufs dieser Abweichung auf die Lage der identischen Stellen noch nicht gekannt.

bei convergirenden Gesichtslinien und geneigter Blickebene deren Mittelpunkt fixirt, so erhalten diese Kreise ebenfalls eine kleine scheinbare Drehung um ihre horizontale Axe in demselben Sinne, wie die verticalen Linien, aber von geringerer Gröfse. Hat man nun einen verticalen Diameter der Kreise hinzugefügt, so wird dieser stärker geneigt, als die Kreise, und löst sich scheinbar von ihnen los. Bei gehobener Blickebene erscheint das obere Ende des Durchmessers dem Beobachter näher als die Ebene der Kreise, das untere entfernter. Umgekehrt bei gesenkter Blickebene.

Da die horizontal verlaufenden Bögen der Kreise keine sichere binoculare Anschauung geben, erscheinen sie auch zuweilen winkelig verbogen und dem Durchmesser anzuhaften.

Auch dieser Versuch gelingt sehr viel leichter, wenn man Kreise und Durchmesser aus sehr feinen Drähten zusammenfügt. Die hierbei vorkommende Täuschung erfordert, dafs der Beobachter am Bilde die stattgefundene Drehung der Augen nicht erkennen könne. Auf einem Papierblatte sind in der Regel Merkpunkte genug, an denen der Beobachter erkennt, dafs er zwei gegen einander gedrehte Bilder desselben Objects vor sich hat. Die Objecte für die hier beschriebenen Versuche müssen so beschaffen sein, dafs sie auch unter Voraussetzung kleiner Drehungen ihres Netzhautbildes noch eine reelle Deutung zulassen. Wir fanden oben ein ähnliches Verhältnifs für die Erkennung der Convergenz aus gewissen Eigenthümlichkeiten der Bilder.

### Regeln der stereoskopischen Projection.

Es sei in *Fig. 235* die Ebene des Papiers die Visirebene, in der $P$ und $Q$ die Mittelpunkte der Visirlinien für beide Augen darstellen. Es sei $AB$ der Durchschnitt einer stereoskopischen Zeichnung, deren Ebene normal sowohl zur Visirebene als zur Medianebene des Kopfes sei, der gewöhnlichen Haltung entsprechend, in der man stereoskopische Zeichnungen zu betrachten pflegt. $CD$ sei die Medianlinie der Visirebene, $S$ ein darzustellender Punkt, der
665 auch aufserhalb der Visirebene liegen kann; in diesem Falle stellt das $S$ in der Zeichnung den Fufspunkt des von ihm auf die Visirebene gefällten Perpendikels dar. Um die Projection des Punktes $S$ in den beiden Zeichnungen zu finden, ziehe man die Linien $SP$ und $SQ$, welche die Ebene der Zeichnung in $R$ und $T$ schneiden. Die letzteren iden Punkte sind diejenigen, in welchen $S$ beziehlich für das Auge $P$ oder $Q$

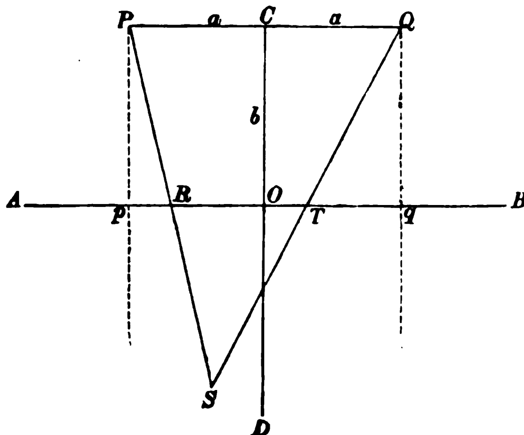


Fig. 235.

darzustellen ist. Um die Lage dieser Punkte zu bezeichnen, wollen wir rechtwinkelige Coordinaten benutzen, welche beziehlich der Visirebene, der Medianebene und der Ebene der zu machenden Zeichnung parallel seien, deren Mittelpunkt $O$ der Durchschnittspunkt der drei genannten Ebenen ist. Und zwar sei $OA$ die Richtung der positiven $x$, $OD$ die der positiven $z$, die $y$ senkrecht zur Ebene des Papiers. Bezeichnen wir demgemäfs die Coordinaten

1) des Punktes $P$ mit $x = +a$, $z = -b$, $y = 0$

2) des Punktes $Q$ mit $x = -a$, $z = -b$, $y = 0$

3) des Punktes $S$ mit $x = \alpha$, $y = \beta$, $z = \gamma$

4) des Punktes $R$ mit $x = \xi_0$, $y = v_0$, $z = 0$

5) des Punktes $T$ mit $x = \xi_1$, $y = v_1$, $z = 0$,

so sind die Bedingungen dafür, dafs die Punkte $P$, $R$, $S$ in einer geraden Linie liegen,

$$\frac{\alpha - a}{\alpha - \xi_0} = \frac{\beta}{\beta - v_0} = \frac{\gamma + b}{\gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

und die Bedingungen, dafs $Q$, $T$, $S$ in einer geraden Linie liegen,

$$\frac{\alpha + a}{\alpha - \xi_1} = \frac{\beta}{\beta - v_1} = \frac{\gamma + b}{\gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2).$$

Zunächst zeigt sich, dafs

$$v_0 = v_1 = \frac{\beta b}{\gamma + b} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1\text{ a}),$$

dafs also in beiden Bildern die Höhen entsprechender Punkte über der Horizontallinie $AB$ gleich grofs sein müssen.

Die beiden Gleichungen ergeben ferner

$$\xi_0 = \alpha - \frac{\gamma(\alpha - a)}{\gamma + b} = \frac{\alpha b + \gamma a}{b + \gamma}$$

$$\xi_1 = \alpha - \frac{\gamma(\alpha + a)}{\gamma + b} = \frac{\alpha b - \gamma a}{b + \gamma}$$

666 Die Differenz $\varepsilon$ dieser beiden Werthe

$$\varepsilon = \xi_0 - \xi_1 = \frac{2\gamma a}{b + \gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1\,b)$$

ist unabhängig von den Werthen von $\alpha$ und $\beta$; sie ist also für alle Objectpunkte dieselbe, welche als in gleicher Entfernung hinter der Ebene der Zeichnung liegend angenommen werden. Diese Differenz $(\xi_0 - \xi_1)$ bezeichnet die Gröfse der Verschiebung, welche die Punkte der einen Zeichnung im Vergleich zu denen der andern nach rechts oder nach links hin erlitten haben. Dabei ist angenommen, dafs die Zeichnungen so aufeinander gelegt sind, dafs Punkte, die in dieser Ebene der Zeichnung selbst gedacht werden (z. B. die Linie, welche die Zeichnung einrahmt), aufeinander fallen. In vielen Fällen ist es dagegen passender, die Zeichnungen so zu vergleichen, dafs unendlich weit entfernte Punkte aufeinander fallen, zum Beispiel die Punkte $p$, $q$, welche durch die beiden parallel mit $CD$ gerichteten Blicklinien $Pp$ und $Qq$ getroffen werden. Setzen wir $\gamma = \infty$, so wird nach Gleichung 1 b)

$$\varepsilon_\infty = 2a$$

und setzen wir

$$e = \varepsilon_\infty - \varepsilon$$

und

$$b + \gamma = \varrho,$$

so ist

$$e = \frac{2ab}{\varrho} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1\,c).$$

In dieser Gleichung bezeichnet $2a$ die Distanz beider Augen, $b$ den Abstand der Zeichnung, $\varrho$ den Abstand des Objects von einer Ebene, die durch die Mittelpunkte beider Augen senkrecht zur Visirebene gelegt ist. Für alle reellen, vor den Augen liegenden Punkte mufs $e$ immer positiv sein, weil $2a$, $b$ und $\varrho$ immer positiv sind. Dabei liegt in dem Bilde für das rechte Auge jeder nähere Punkt mehr nach links als in dem des linken Auges. Zugleich läfst die Gleichung 1 c) erkennen, dafs die stereoskopische Differenz $e$ für sehr grofse Werthe von $\varrho$ sehr klein ist und erst für kleine Werthe von $\varrho$ grofs wird.

Den Umstand, dafs die Gröfse von $e$ gleich grofs ist für Gegenstände, die alle in derselben, der Ebene der Zeichnung parallelen Ebene liegen, hat O. N. Rood[1] benutzt, um ein Instrument zu construiren, mit dem man von gegebenen einzelnen perspectivischen Zeichnungen beliebiger Objecte ein Paar zusammengehörige stereoskopische Zeichnungen copiren kann. Das Original, mit Oel transparent gemacht, wird auf einer horizontalen Glasplatte befestigt und von unten her beleuchtet. Darauf wird ein ebener viereckiger Rahmen gelegt, dessen untere Seite mit Schreibpapier überzogen ist. Dieser Rahmen kann mittels einer Stellschraube um kleine Distanzen von rechts nach links verschoben werden. Man zeichnet nun zunächst eine Zeichnung vollständig nach, ohne die Stellung des Rahmens zu verändern, und die andere so, dafs man mit den ganz vorn befindlichen Linien beginnt und dann zu den nächst entfernteren übergeht und so fort. Bei jedem Uebergange aber zu entfernteren Punkten verschiebt man den Rahmen, der die Copie trägt,

[1] O. N. Rood, *American Journal of Science and Arts.* Vol. XXXI, p. 71. 1861.

ein wenig, entsprechend dem Tiefenabstande. So erhält man zwei Zeichnungen, welche stereoskopisch combinirt ein körperliches Relief zeigen.

Wenn zwei Punkte von verschiedenem Abstande $\varrho_{\prime}$ und $\varrho_{\prime\prime}$ stereoskopisch projicirt sind und die entsprechenden stereoskopischen Differenzen mit $e_{\prime}$ und $e_{\prime\prime}$ 667
bezeichnet werden, so ist

$$e_{\prime} - e_{\prime\prime} = 2ab\left(\frac{1}{\varrho_{\prime}} - \frac{1}{\varrho_{\prime\prime}}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2\text{a})$$

Nehmen wir hierin für $e_{\prime} - e_{\prime\prime}$ den kleinsten in der Zeichnung erkennbaren Abstand, so erhalten wir zusammengehörige Werthe der Abstände $\varrho_{\prime}$ und $\varrho_{\prime\prime}$, welche an der Grenze der erkennbaren Unterschiede liegen. Setzen wir zur Abkürzung

$$\frac{2ab}{e_{\prime} - e_{\prime\prime}} = f,$$

so wird die Gleichung 2a)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\varrho_{\prime}} - \frac{1}{\varrho_{\prime\prime}}$$

die oben für diesen Fall gegebene Formel. Wenn wir die mittlere geometrische Proportionale zwischen $\varrho_{\prime}$ und $\varrho_{\prime\prime}$ mit $\mathfrak{r}$ bezeichnen, so läfst sich die letzte Formel auch schreiben

$$\varrho_{\prime\prime} - \varrho_{\prime} = \frac{\mathfrak{r}^2}{f},$$

d. h. die stereoskopisch unterscheidbaren Unterschiede der Entfernung wachsen wie die Gröfse des Quadrats der mittleren Entfernung $\mathfrak{r}$.

Um die Veränderungen zu übersehen, welche das stereoskopische Relief bei verschiedenen Verschiebungen der Bilder liefert, müssen wir die scheinbaren Coordinaten des Objectpunktes $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ ausdrücken durch die Coordinaten seiner beiden Bilder $\xi_{\prime}$, $\xi_{\prime\prime}$, $v$. Aus den obigen Gleichungen 1) und 2) ergiebt sich

$$\frac{\alpha - a}{\alpha - \xi_0} = \frac{\alpha + a}{\alpha - \xi_1}$$

oder

$$\alpha = \frac{a(\xi_1 + \xi_0)}{2a + \xi_1 - \xi_0}$$

$$\beta = \frac{2va}{2a + \xi_1 - \xi_0}$$

$$\gamma = \frac{b(\xi_0 - \xi_1)}{2a + \xi_1 - \xi_0}$$

oder wenn wir wie vorher die stereoskopische Differenz

$$2a + \xi_1 - \xi_0 = e$$

setzen und das arithmetische Mittel von $\xi_0$ und $\xi_1$ mit $\xi$ bezeichnen, so ist

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \xi \frac{2a}{e} \\ \beta &= v \frac{2a}{e} \\ \varrho = \gamma + b &= b \frac{2a}{e} \end{aligned}\right\} \quad 3a).$$

668 Wenn wir ein Paar zusammengehöriger stereoskopischer Zeichnungen beide nach einer Seite bewegen, also $\xi$ vergrößern, während $e$, $v$, $b$ unverändert bleiben, so vergrößern sich die Werthe von $\alpha$, während $\beta$ und $\varrho$ unverändert bleiben. Die Vergrößerung von $\alpha$ ist aber im Verhältniß $\frac{2a}{e}$ größer als die von $\xi$. Eliminiren wir die stereoskopische Differenz $e$ aus der ersten und dritten Gleichung, so wird

$$\alpha = \varrho \cdot \frac{\xi}{b} \, .$$

Die Vergrößerungen von $\alpha$ sind also auch proportional der scheinbaren Entfernung $\varrho$ des Objectpunktes; d. h. also die Punkte, welche vor der Verschiebung scheinbar gerade hinter einander lagen, d. h. gleiche Werthe von $\xi$ hatten, liegen nach der Verschiebung in einer geraden Linie, die durch den mitten zwischen den Mittelpunkten beider Augen liegenden Punkt zu ziehen ist.

Wenn wir ein Paar zusammengehöriger stereoskopischer Zeichnungen, die auf einem Blatte ausgeführt sind, von dem Auge entfernen, also $b$ vergrößern, während $\xi$, $v$, $e$ und $a$ unverändert bleiben, so bleiben die Werthe von $\alpha$ und $\beta$ unverändert, die Tiefendimension $\varrho$ aber wächst in demselben Verhältnisse wie $b$. Man beobachtet dies in der That leicht, wenn man ein solches Paar stereoskopischer Bilder mit parallelen Gesichtslinien zur Coincidenz bringt; ihr Relief wird desto tiefer, je weiter man die Bilder vom Auge entfernt.

Um endlich die Veränderungen übersehen zu können, welche eintreten, wenn man die stereoskopischen Zeichnungen einander nähert oder von einander entfernt, schreiben wir die Gleichungen 3a) in folgender Form

$$\left.\begin{aligned} \frac{\alpha}{\varrho} &= \frac{\xi}{b} \\ \frac{\beta}{\varrho} &= \frac{v}{b} \\ \frac{1}{\varrho} &= \frac{e}{2ab} \end{aligned}\right\} \quad 3b)$$

und bemerken dabei, dass $2v = \xi_1 - \xi_0$ und $e = 2a - \xi_0 - \xi_1$ ist. Wenn man nun das rechte Bild nach links, das linke nach rechts schiebt um die Länge $e$, so

verkleinert man $\mathfrak{x}_0$ und vergröfsert $\mathfrak{x}_1$ um die Länge $\eta$, folglich bleibt $\mathfrak{x}$ (so wie auch $v$) ungeändert, während der Werth von $e$ um $2\eta$ wächst. Nennen wir nun $\alpha_1$, $\beta_1$ und $\varrho_1$ die Werthe von $\alpha$, $\beta$, $\varrho$ welche nach dieser Verschiebung gelten, so verwandeln sich die Gleichungen 3b) in folgende

$$\frac{\alpha_1}{\varrho_1} = \frac{\mathfrak{x}}{b}, \quad \frac{\beta_1}{\varrho_1} = \frac{v}{b}$$

$$\frac{1}{\varrho_1} = \frac{e + 2\eta}{2ab}.$$

Drückt man in diesen nun $\mathfrak{x}$, $v$ und $e$ durch ihre Werthe in 3b) aus, so erhält man

$$\left.\begin{aligned} \frac{\alpha_1}{\varrho_1} &= \frac{\alpha}{\varrho} \\ \frac{\beta_1}{\varrho_1} &= \frac{\beta}{\varrho} \\ \frac{1}{\varrho_1} &= \frac{1}{\varrho} + \frac{\eta}{ab} \end{aligned}\right\} \quad 4).$$

Hierin sind $\alpha$, $\beta$, $\varrho$ die ursprünglichen Coordinaten des betreffenden Object- 669
punktes, bezogen auf ein Coordinatensystem, dessen Mittelpunkt in der Mitte zwischen den Mittelpunkten beider Augen liegt und den wir den **Gesichtspunkt** nennen wollen. $\alpha_1$, $\beta_1$ und $\varrho_1$ sind die entsprechenden Coordinaten für die scheinbare Lage des Punktes, welche er nach der gegenseitigen Näherung der richtigen stereoskopischen Projectionen hat. Durch die Gleichungen 4) ist für jeden Punkt die Lage seines Bildes nach solcher Verschiebung eindeutig gegeben. Die ersten beiden Gleichungen sagen aus, dafs der scheinbare und wahre Ort des Punktes beide in der gleichen vom Mittelpunkt der Coordinaten aus gezogenen geraden Linie liegen. Die dritte Gleichung zeigt an, dafs seine Entfernung von der durch beide Augen gelegten Verticalebene verändert, und zwar bei positiven Werthen von $\eta$ verringert ist. Setzen wir die Gröfse $\frac{ab}{\eta} = p$, so wird die letzte Gleichung

$$\frac{1}{\varrho_1} = \frac{1}{\varrho} + \frac{1}{p} \quad \text{4 a)}$$

dieselbe, welche die Entfernungen des Objects $\varrho$ und seines Bildes $\varrho_1$ für eine Concavlinse von der Brennweite $p$ geben würde.

Für unendlich weit entfernte Punkte wird $\varrho = \infty$ und $\varrho_1 = p$.

Es bezeichnet also $p$ die Entfernung der Ebene, auf der sich alle unendlich weit entfernten Punkte des Originals abbilden, welche wir mit Brewster die **Hauptebene** nennen können.

Wenn der Objectpunkt $\alpha$, $\beta$, $\varrho$ irgend einen Punkt einer bestimmten Ebene bezeichnet, also für ihn eine Gleichung von der Form existirt

$$A\alpha + B\beta + C\varrho + D = 0 \quad \text{5)},$$

so ergiebt sich aus den Gleichungen 4) und 4a)

$$A\alpha_1 + B\beta_1 + \left[C - \frac{D}{p}\right]\varrho_1 + D = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5\text{a}).$$

Die Bildpunkte liegen also auch in einer Ebene; und wenn $A = B = 0$, das heifst die Ebene des Originals der durch beide Augen gehenden Verticalebene $\varrho = 0$ parallel ist, so ist die Bildebene derselben Ebene also auch ihrem Original parallel. Wenn andererseits $D = 0$ ist, das heifst die Originalebene durch den Mittelpunkt der Coordinaten, oder den Gesichtspunkt geht, so fällt die Bildebene ganz mit ihrem Original zusammen.

Wenn wir im Original eine Schaar paralleler Ebenen haben, deren Gleichung in der Form 5) gegeben ist und die einzeln dadurch unterschieden sind, dafs $D$ für jede einen andern Werth hat, so reducirt sich die Gleichung 5a) für die Bildebenen, wenn man darin $\varrho_1 = p$ setzt, auf

$$A\alpha_1 + B\beta_1 + Cp = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4\text{b})$$

welche unabhängig von $D$ ist. Das heifst die Abbilder aller jener parallelen Ebenen schneiden die Ebene $\varrho_1 = p$ (die Hauptebene) in derselben geraden Linie, deren Gleichung in 4b) gegeben ist.

Die Abbilder einer Schaar paralleler Ebenen schneiden sich also entweder einander und die Hauptebene gar nicht, oder sie schneiden sich und die Hauptebene alle in einer geraden Linie, ihrer Fluchtlinie. Da nach der vorher gemachten Bemerkung diejenige in jener Schaar paralleler Ebenen, welche durch den Mittelpunkt des Coordinatensystems geht, mit ihrem Bilde zusammenfallen mufs, so mufs diese
670 Ebene auch die Hauptebene in der Fluchtlinie schneiden. Um die Fluchtlinie einer Schaar paralleler Ebenen zu finden, lege man ihnen parallel also eine Ebene durch den Gesichtspunkt; diese schneidet die Hauptebene in der gesuchten Fluchtlinie.

Wenn wir ferner die Gleichungen 4) in die Form setzen

$$\alpha_1 - \alpha + \frac{\alpha\varrho_1}{p} = 0, \qquad \beta_1 - \beta + \frac{\beta\varrho_1}{p} = 0,$$

$$\varrho_1 = \frac{\varrho\, ab}{ab + \varrho\eta},$$

so ergiebt sich, dafs für $\varrho = 0$ sein mufs

$$\varrho_1 = \varrho = 0, \qquad \alpha_1 = \alpha, \qquad \beta_1 = \beta,$$

dafs also für jeden Punkt der Ebene $\varrho = 0$ das Abbild mit dem Original zusammenfällt.

Nennen wir diese Ebene $\varrho = 0$ die Congruenzebene (Breysig's Bildebene). so ist das Bild jeder Ebene $A$ des Originals zu construiren, indem man eine Ebene legt durch die Schnittlinie von $A$ mit der Congruenzebene und die zu $A$ gehörige Fluchtlinie.

Gerade Linien des Originals sind zu betrachten als Schnittlinien je zweier Ebenen. Ihr Bild mufs die Schnittlinie der Abbilder beider Ebenen, also wieder eine gerade Linie sein. Eine Schaar paralleler gerader Linien kann angesehen werden als das System der Schnittlinien von zwei Schaaren paralleler Ebenen. Die

Abbilder dieser Ebenen müssen sich beziehlich mit der Hauptebene in den beiden zugehörigen Fluchtlinien schneiden, und ihre Schnittlinien, das heifst die Abbilder aller jener parallelen geraden Linien des Originals werden durch den Schnittpunkt beider Fluchtlinien gehen müssen, wenn die beiden Fluchtlinien sich überhaupt schneiden, was sie nicht thun würden, wenn die Schaar der gegebenen geraden Linien der Hauptebene und Antlitzebene parallel wäre.

Die Abbilder paralleler gerader Linien, wenn sie der Hauptebene nicht parallel sind, schneiden diese also in einem Punkte, dem Fluchtpunkte.

Dieser Fluchtpunkt für eine gerade Linie des Originals, die der Hauptebene nicht parallel ist, wird gefunden, wenn man durch den Gesichtspunkt mit der betreffenden Geraden eine Parallele legt; wo diese die Hauptebene schneidet, ist der Fluchtpunkt.

Das Abbild einer geraden Linie des Originals findet man, indem man ihren Schnittpunkt mit der Congruenzebene durch eine Gerade mit dem zugehörigen Fluchtpunkte verbindet.

Man sieht, dies sind genau dieselben Constructionsregeln, welche für Reliefbilder vorgeschrieben worden sind, mit der einzigen Ausnahme, dafs bei Reliefbildern die Ebene, deren Punkte mit ihren Bildern zusammenfallen (Breysig's Bildebene), nicht nothwendig durch die Augen selbst geht. Diese Bedingung ist nähmlich nur dann nothwendig zu erfüllen, wenn die Gröfse des durch das Reliefbild dargestellten Gegenstandes unverändert erscheinen soll.

Denkt man sich nähmlich sämmtliche Coordinaten der Punkte des Originals proportional verkleinert oder vergröfsert, setzt man also in die Gleichungen 4) statt

$$\alpha, \qquad \beta, \qquad \varrho,$$

beziehlich

$$n\alpha, \qquad n\beta, \qquad n\varrho,$$

so verwandeln sich die Gleichungen 4) in 671

$$\left.\begin{aligned} \frac{\alpha_1}{\varrho_1} &= \frac{\alpha}{\varrho} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \frac{\beta_1}{\varrho_1} &= \frac{\beta}{\varrho} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \frac{1}{\varrho_1} &= \frac{1}{n\varrho} + \frac{1}{p} \quad \ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \quad 6).$$

Wenn $\varrho$ unendlich ist, wird $\varrho_1 = p$, also die Ebene $\varrho_1 = p$ ist die Hauptebene, in der die unendlich entfernten Punkte abgebildet werden.

Wenn im Original die Ebene

$$A\alpha + B\beta + C\varrho + D = 0 \quad \ldots\ldots \quad 5)$$

besteht, so erhält man mittels der Gleichungen 6) für das Bild

$$A\alpha_1 + B\beta_1 + \left[C - D\frac{n}{p}\right]\varrho_1 + Dn = 0 \quad \ldots \quad 5\text{b}).$$

Wenn $D = 0$, so ist die zweite Gleichung identisch mit der ersten und die Originalebene fällt mit ihrem Bilde zusammen. Dieser Bedingung genügen die Ebenen, welche durch den Punkt $\alpha = \beta = \varrho = 0$ gehen, der also die Bedeutung des **Gesichtspunktes** hat. Endlich schneiden sich die Ebenen 5) und 5 b), wo

$$\left.\begin{aligned} D &= Dn - Dn\,\frac{\varrho_1}{p} \\ \text{oder} \quad \varrho_1 &= p\,.\,\frac{n-1}{n} \end{aligned}\right\} \quad 5\,c)$$

Die durch die Gleichung 5 c) gegebene Ebene, die den Gesichtspunkt nicht enthält, ist also die Congruenzebene. Sobald also das Relief nach den gewöhnlich angenommenen Regeln construirt ist und der Gesichtspunkt nicht in der Congruenzebene liegt, so ist es, aus dem richtigen Gesichtspunkte betrachtet, optisch ähnlich der Darstellung eines verkleinerten oder vergröfserten Modells des Originals, in welchem der Gesichtspunkt des Beobachters seine relative Lage behalten hat. Dabei ist dann der Gesichtswinkel, unter dem das Reliefbild erscheint, noch derselbe, wie für das Original. Wenn die Congruenzebene zwischen Beobachter und Relief liegt, entspricht letzteres einem linear vergröfserten Objecte, wenn die Bildebene dagegen hinter dem Beobachter liegt, einem linear verkleinerten Objecte.

Wenn die Congruenzebene sich der Hauptebene unendlich nähert ($n = \infty$), so verwandelt sich das Reliefbild in eine ebene perspectivische Zeichnung.

Die Veränderungen, welche scheinbar vor sich gehen, wenn man zwei richtige stereoskopische Abbildungen eines Objects in ihrer eigenen Ebene einander nähert oder entfernt, sind also von derselben Art, wie sie bei der Ausführung von Reliefbildern des Originals stattfinden. Man beobachtet die Erscheinung auch leicht an stereoskopischen Bildern, wenn man die angegebenen Bewegungen ausführt, und kann durch dieses Mittel leicht die gewünschte richtige Tiefenanschauung des Objects hervorbringen. Doch ist zu bemerken, dafs wir auch ohne den Bildern die richtige Entfernung zu geben, bei bekannten Objecten meistens die richtige Tiefenanschauung bilden, weil wir nicht sehr empfindlich für den absoluten Werth der Convergenz unserer Gesichtslinien sind, und eben deshalb leicht, wenn andere Vergleichungspunkte fehlen, so urtheilen, als hätten unsere Blicklinien den Grad der Convergenz, der einer richtigen Tiefenanschauung des Objects entsprechen würde.

672 Es ist hierbei freilich zu bemerken, dafs bei einer solchen Verschiebung stereoskopischer Bilder nicht blos der Grad der Convergenz der Gesichtslinien geändert wird, sondern auch die Ansicht der Bilder selbst, weil bei unveränderter Fixation derselben Punkte die Gesichtslinien, wenn sie vor der Verschiebung senkrecht auf der Fläche des Bildes waren, es nach der Verschiebung nicht mehr sind und daher auch das Bild sich etwas anders auf die Netzhaut projicirt. Es läfst sich aber leicht einsehen, dafs, wenn wir die Bilder selbst so drehen wollen, dafs ihr Netzhautbild unverändert bleibt, die nach entsprechenden Punkten der Bilder gezogenen geraden Linien sich gröfstentheils nicht mehr schneiden würden, und also kein reeller Punkt gleichzeitig den beiden Punkten in den Zeichnungen entsprechen würde. Wie die Projection des Bildes in solchen Fällen geschieht, kann erst im folgenden Abschnitte bei der Lehre vom Horopter ermittelt werden.

Wenn man stereoskopische Bilder durch convexe oder concave Linsen ansieht, welche dicht vor die beiden Augen des Beobachters gestellt sind, und deren Mittel-

punkte gleich weit von einander entfernt sind wie die Mittelpunkte beider Augen, so wachsen dadurch die Gröfsen $e$, $\chi$ und $v$ der Gleichungen 3 a) in demselben Maafse, wie die scheinbare Entfernung des Bildes $b$; es bleiben demnach die Werthe der Gröfsen $\alpha$, $\beta$ und $\varrho$ ungeändert. Solche Linsen verändern also nicht die scheinbare Lage und Gröfse des stereoskopischen Reliefs. Es ist dies wichtig wegen der Brillengläser, welche, wenn sie richtig gestellt sind, keine Gröfsenveränderung im Gesammtbilde hervorbringen, trotzdem jedes einzelne optische Bild in der That vergröfsert oder verkleinert ist.

Damit aber Brillengläser richtige Gröfsen und Entfernungen der Objecte zeigen, ist es wesentlich nöthig, dafs ihre optischen Mittelpunkte gerade so weit von einander entfernt sind, wie die Knotenpunkte der parallel gestellten Augen. Wenn in *Fig. 236* $a_0$ der optische Mittelpunkt eines concaven Brillenglases ist, $b$ das Object, $a_0 f_0$ die optische Axe des Glases, so liegt das Bild $\beta_0$ von $b$ in der Verbindungslinie von $a_0$ mit $b$; und wenn man von $b$ und $\beta_0$ die Lothe $b f_0$ und $\beta_0 \varphi_0$ auf die optische Axe fällt, die Brennweite des Glases mit $p$ bezeichnet und alsdann setzt

$$a_0 f_0 = r \qquad a_0 \varphi_0 = s,$$

so ist nach den Theoremen des § 9, S. 84:

$$\frac{1}{r} - \frac{1}{s} = - \frac{1}{p}.$$

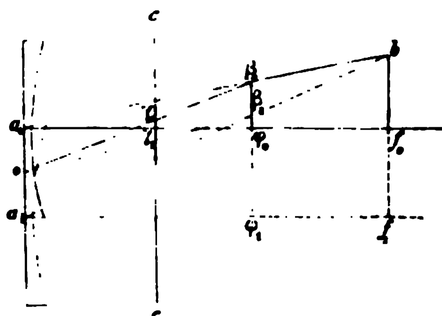


Fig. 236.

Dadurch ist die Lage von $\beta_0$ gegeben. Wenn nun die Linse parallel ihrer Hauptebene verschoben wird, so dafs ihr optischer Mittelpunkt in $a_1$ und ihre optische Axe in $a_1 f_1$ liegt, so wird das Bild von $b$ in die Verbindungslinie von $b$ mit $a_1$ rücken, übrigens in dem Lothe $\varphi_0 \beta_0$ bleiben. Das Bild verschiebt sich also um die Länge

$$\beta_0 \beta_1 = a_0 a_1 \times \frac{\varphi_0 f_0}{a_0 f_0} = \alpha \cdot \frac{r - s}{r},$$

wenn wir die Verschiebung des Glases $a_0 a_1 = \alpha$ setzen. Daraus folgt mit Hülfe der obigen Gleichung zwischen $r$ und $s$

$$\beta_0 \beta_1 = \alpha \frac{s}{p} = \alpha \frac{r}{r + p}.$$

Denken wir uns dicht hinter den Concavlinsen bei $o$ ein Auge stehend, welches nach den Bildern $\beta_0$ und $\beta_1$ hinblickt und diese Bilder auf die feste Ebene $cc$ projicirt in $\gamma_0$ und $\gamma_1$, so ist die scheinbare Verschiebung der Projection auf dieser Ebene, deren Abstand von $a_0$ wir mit $A$ bezeichnen wollen, 673

$$\gamma_0 \gamma_1 = \beta_0 \beta_1 \cdot \frac{A}{s} = \frac{\alpha A}{p},$$

also unabhängig von der Lage des Objects $b$. Die Verschiebung des optischen Bildes bei Verschiebung der Concavlinse von $a_0$ nach $a_1$ ist also gerade dieselbe, als wenn man eine perspectivische Zeichnung des Objects auf der Ebene $cc$ um die Gröfse $\gamma_0\gamma_1$ verschöbe. Denken wir uns die Projectionsebene $cc$ im Brennpunkte der Linse, machen wir also $A = p$, so wird $\gamma_0\gamma_1 = \alpha$, also gleich der wirklichen Verschiebung des Glases.

Die Erscheinungen, welche entstehen, wenn Brillengläser vor den Augen seitwärts verschoben werden, sind also dieselben, welche bei gegenseitiger Entfernung oder Näherung stereoskopischer Zeichnungen sich zeigen. Der Versuch bestätigt vollkommen diese Folgerung der Theorie. Stehen die Centren der Concavbrillengläser einander näher als die Augenmittelpunkte, so erscheinen die Gegenstände zu nah, im andern Falle zu weit. Bei Convexbrillen ist es umgekehrt, weil $p$ das entgegengesetzte Vorzeichen hat.

Es ist dieser Umstand bei der Verfertigung der Brillen[1] wohl zu beachten, namentlich auch deshalb, weil eine fortgesetzte angestrengte Haltung des Auges leicht Schmerzen im Auge und im Kopfe hervorbringt. Concavbrillen, deren optische Mittelpunkte nicht weit genug von einander entfernt sind, zwingen die Augen fortdauernd zu convergiren; sind die Mittelpunkte im Gegentheile zu weit entfernt, so mufs der Beobachter divergiren. Am schlimmsten ist es, wenn ein Mittelpunkt höher als der andere liegt. Namentlich die Nasenklemmer sind in dieser Beziehung oft falsch construirt. Wenn die optischen Mittelpunkte der Gläser in der Mitte ihrer Fläche sitzen, so sind sie einander zu nah und zwingen zum dauernden Convergiren. Auch Höhenabweichungen treten leicht ein, weil der Klemmer sich in der Regel nicht ganz horizontal auf dem Nasenrücken festsetzt.

Blickt man nach wirklichen Objecten durch zwei parallel gestellte Teleskope, zum Beispiel Binocles, so erhält man denselben Erfolg, als wenn man die entsprechenden stereoskopischen Zeichnungen dem Auge nähert; die Gesichtswinkel werden für alle Theile des Bildes gleichmäfsig vergröfsert. Das entspricht nun, wie wir oben für diesen Fall bei den Zeichnungen gesehen haben, einer Annäherung und Verkürzung der Tiefendimensionen des Objects ohne Veränderung seiner zur Gesichtslinie senkrechten Dimensionen. Durch Binocles erscheinen also die Objecte genähert, übrigens in natürlicher Gröfse, aber verflacht, als Basrelief. Das ist auch an menschlichen Gesichtern deutlich zu erkennen; sie nehmen immer einen unnatürlichen, halb bildartigen Ausdruck an.

Die Theorie des Telestereoskops ergiebt sich leicht, wenn man bedenkt, dafs ein Beobachter die Objecte in einem Planspiegel so sieht, nur symmetrisch von rechts nach links umgekehrt, wie das Spiegelbild des Beobachters die wirklichen Gegenstände durch das Glas des Spiegels hindurch sehen würde.

Es sei $AA$ *Fig. 237* (S. 823) der eine, $BB$ der andere Spiegel, $C$ das Auge des Beobachters. Das Auge $C$ sieht im ersten Spiegel $BB$ die Dinge so, wie das
674 Spiegelbild $D$ dieses Auges sie durch $BB$ hindurch sehen würde. Dabei mufs die Entfernung $Cb = Db$ sein. Das Spiegelbild $D$ sieht wieder die Dinge im Spiegel $AA$ so, wie sie $E$, das von $AA$ entworfene Spiegelbild, von $D$ durch $AA$ hindurch sehen würde, und der Ort von $E$ ist dadurch bestimmt, dafs $Ea$ längs des reflectirten Strahls gemessen gleich $Da$ längs des einfallenden gemessen sein mufs. Daraus folgt, wie schon oben erwähnt ist, dafs das Auge $C$

[1] Die stereoskopischen Erscheinungen, zu denen Brillengläser Veranlassung geben, sind genauer untersucht von F. C. DONDERS in *Anomalies of accommodation and refraction*. London 1864. p. 152—159.

durch die zwei Spiegel die Landschaft so sieht, wie sie von $E$ aus direct gesehen erscheinen würde. Nun ist die stereoskopische Differenz $e$ zweier Bilder, projicirt auf eine Zeichnung in der Entfernung $b$, wie Gleichung 1 $c$) lehrt,

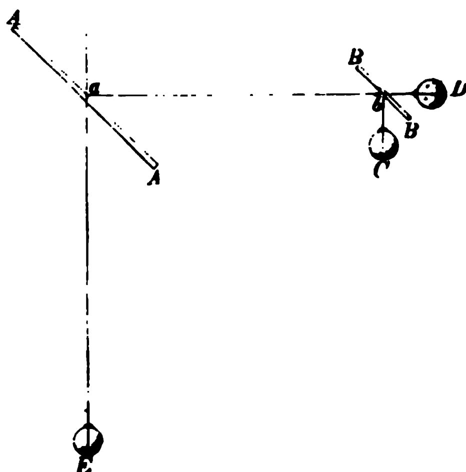


Fig. 237.

$$e = \frac{2Ab}{r},$$

wo $2A$ die Entfernung der beiden Gesichtspunkte bezeichnet, und $r$ die Entfernung des Objects von der gemeinsamen verticalen Ebene beider Augen. Jene Entfernung $2A$ ist im Telestereoskop die Entfernung der beiden von je zwei Spiegeln entworfenen Spiegelbilder der Augen des Beobachters ($r_1 \varrho_1$ der *Fig. 233,* Seite 794). Setzen wir nun diesen Werth von $e$ in die Gleichungen 3 a), so wird, wenn unendlich entfernte Punkte mit parallelen Gesichtsaxen gesehen werden:

$$\alpha = \mathfrak{x} \frac{a}{A} \frac{\mathfrak{r}}{b} = \mathfrak{x} \frac{\varrho}{b}$$

$$\beta = v \frac{a}{A} \frac{\mathfrak{r}}{b} = v \frac{\varrho}{b}$$

$$\varrho = b \frac{a}{A} \frac{\mathfrak{r}}{b}.$$

Danach verhalten sich also $\alpha$, $\beta$, $\varrho$ zu einander beziehlich wie $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{r}$, b, welche letzteren wir als die wirklichen Entfernungen ansehen können, aber die scheinbare Entfernung $\varrho$ ist kleiner als $r$ im Verhältnifs $\frac{a}{A}$, und in demselben Verhältnisse sind also auch die übrigen scheinbaren Dimensionen reducirt. Die Landschaft erscheint also dann, wie ein richtig construirtes verkleinertes Modell.

Dasselbe gilt für photographische Landschaftsbilder, wenn wir für $2A$ die Entfernung der beiden Punkte nehmen, an denen sich der Mittelpunkt des Objectivglases der *Camera obscura* bei den beiden photographischen Aufnahmen befunden hat. Bei der Anordnung des Stereoskops ist darauf zu achten, dafs unendlich entfernte Punkte der Photographien mit parallelen Gesichtslinien combinirt werden, und dafs die Abstände der Platte von dem Auge oder den Linsen des Stereoskops gleich denen der Platte in der *Camera obscura* von dem Objectivglase derselben sein müssen; sonst bekommt man ein falsches Relief. Beide Bedingungen sind gewöhnlich in den käuflichen Stereoskopen und den dazu gehörigen Bildern nicht erfüllt.

Recklinghausen's Normalfläche. Man denke sich ein rechtwinkeliges Coordinatensystem, dessen Mittelpunkt im Fixationspunkte liegt, die $xy$ Ebene in 675

der Visirebene; die $zx$ Ebene sei die Medianebene des Körpers. Die Coordinaten des rechten Auges seien:

$$x = a \qquad y = b \qquad z = 0,$$

die des linken Auges:

$$x = a \qquad y = -b \qquad z = 0,$$

so dafs $2b$ die Distanz der Mittelpunkte beider Augen bezeichnet, $a$ den Abstand des Fixationspunktes von der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte.

Die Blicklinie des rechten Auges ist gegeben durch die Gleichungen

$$\frac{x}{a} - \frac{y}{b} = 0 \text{ und } z = 0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1),$$

die Blicklinie des linken Auges durch die Gleichungen

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 0 \text{ und } z = 0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1\,a).$$

Bildet man aus den beiden Gleichungen 1) durch Multiplication der ersten mit dem constanten Factor $p$ und Addition der zweiten die neue Gleichung

$$p\left(\frac{x}{a} - \frac{y}{b}\right) + z = 0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1\,b),$$

so ist dies die Gleichung einer Ebene, die durch die rechte Blicklinie geht, denn für alle Punkte dieser Blicklinie sind die beiden Gleichungen 1), folglich auch 1 b) erfüllt. Nach bekannten Sätzen ist der Cosinus des Winkels $\alpha$, den die Normale dieser Ebene mit der $z$ Axe, oder die Ebene selbst mit der Visirebene, $z = 0$, macht, gegeben durch die Gleichung

$$\cos\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{p^2}{a^2} + \frac{p^2}{b^2}}} \quad \ldots\ldots \quad 1\,c).$$

Bilden wir entsprechend aus den Gleichungen 1 a) die neue

$$-p\left(\frac{x}{a} + \frac{y}{b}\right) + z = 0 \quad \ldots\ldots \quad 1\,d),$$

so geht diese durch die linke Blicklinie, und der Werth von $\cos\alpha$ ist für sie derselbe, wie in 1 c).

Aus 1c) folgt

$$p = \frac{\operatorname{tang}\alpha}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}}}$$

oder wenn wir setzen

$$a = r\cos\gamma, \qquad b = r\sin\gamma,$$

wo $\gamma$ der halbe Convergenzwinkel, und $r$ die Entfernung jedes Auges vom Fixationspunkte ist:

$$p = r \operatorname{tang} \alpha \quad \sin \gamma \,.\, \cos \gamma,$$

wonach die Gleichungen 1 b) und 1 d) werden: 676

$$(x \sin \gamma - y \cos \gamma) \operatorname{tang} \alpha + z = 0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1\text{ b}).$$

$$-(x \sin \gamma + y \cos \gamma) \operatorname{tang} \alpha + z = 0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1\text{ d}).$$

Subtrahirt man die zweite von der ersten, so erhält man

$$x \sin \gamma = 0,$$

das heifst, die Schnittlinie der beiden Ebenen 1 b) und 1 d) liegt in der durch den Fixationspunkt, senkrecht zur Visirebene und zur Medianebene gelegten Ebene $x = 0$, welches auch der Winkel $\alpha$ sei. Diese Schnittlinie sei eine gesehene Linie, dann sind die beiden Ebenen 1 b) und 1 d) die Ebenen ihrer Richtungsstrahlen.

War nun die bisher betrachtete Stellung der Augen eine ohne Raddrehung, so können wir übergehen zu einer Stellung mit Raddrehung, indem wir in 1 b) den Winkel $\alpha$ und $\delta$ vergröfsern, in 1 d) um ebenso viel verkleinern. Dann bekommen wir für die neue Lage beider Ebenen:

$$\operatorname{tang} (\alpha + \delta) = \frac{z}{y \cos \gamma - x \sin \gamma}$$

$$\operatorname{tang} (\alpha - \delta) = \frac{z}{y \cos \gamma + x \sin \gamma}.$$

Bilden wir hieraus die Tangente der Differenz beider Winkel, so erhalten wir:

$$\operatorname{tang} (2\delta) = \frac{2zx \sin \gamma}{y^2 \cos^2 \gamma - x^2 \sin^2 \gamma + z^2}$$

oder

$$z^2 + y^2 \cos^2 \gamma - x^2 \sin^2 \gamma - 2zx \sin \gamma \,.\, \operatorname{cotang} (2\delta) = 0 \quad . \; . \quad 2),$$

welches die Gleichung eines Kegels ist, dessen Spitze im Mittelpunkt der Coordinaten liegt. Aus der Gleichung 2) erhellt nähmlich, dafs wenn $x$, $y$, $z$ Werthe sind, die der Gleichung 2) genügen, auch $nx$, $ny$ und $nz$ genügen; daraus folgt, dafs jede durch einen Punkt der Fläche 2) und den Anfangspunkt der Coordinaten gezogene gerade Linie ganz in der Fläche 2) liegt, dafs diese also ein Kegel ist.

Die in den Gleichungen 1) und 1 a) angegebenen Werthe der Coordinaten für die Blicklinien genügen ebenfalls der Gleichung 2). Die Kegelfläche geht also durch die Blicklinien.

Da nun nach den oben aufgestellten Grundsätzen bei medianem Fixationspunkte die Gesichtsbilder so ausgelegt werden, als wäre keine Raddrehung erfolgt, so

werden das vor der Drehung in der Ebene $x = 0$ gezogene Strahlenbündel und das auf dem Kegel der Gleichung 2) gelegene nicht unterschieden werden, und das Strahlenbündel wird also eben oder kegelförmig erscheinen, je nachdem in der ersten oder zweiten Stellung der Augen die Netzhauthorizonte mit der Visirebene zusammenfallen.

Dabei ist noch zu bemerken, dafs diejenigen Kanten des Kegels, welche den Blicklinien sehr nahe kommen und also gegen die Augen des Beobachters selbst hingerichtet erscheinen müfsten, ein zu kühnes und unwahrscheinliches Relief geben und deshalb besser vermieden werden. Aufserdem ist zu bemerken, dafs diejenigen Kanten der Kegelfläche, die zwischen den Augen durchgehen, in den Bildern beider Netzhäute gerade entgegengesetzte Richtung bekommen, und deshalb von ihnen abzusehen ist.

Um die scheinbare Lage von Kreisen zu berechnen, deren Mittelpunkt fixirt wird und deren Ebene senkrecht zur Halbirungslinie des Convergenzwinkels ist,
677 benutzen wir den Satz, dafs, wenn die Gleichung einer Ebene in der Normalform gegeben ist,

$$U = ax + by + cz + d$$

und

$$a^2 + b^2 + c^2 = 1$$

der Ausdruck $U$ den Abstand des Punktes $(x, y, z)$ von der Ebene $U = 0$ bezeichnet, wobei $d$ den Abstand des Mittelpunkts der Coordinaten von derselben Ebene anzeigt.

Bringen wir die Gleichung 1 b) auf die Form

$$x \sin\gamma \sin\alpha - y \cos\gamma \sin\alpha + z \cos\alpha = U \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3),$$

nehmen wir dazu eine zweite Ebene, die auch durch die Blicklinie geht, in der aber der Winkel $\alpha$ um einen Rechten gewachsen ist und die deshalb auf 3) senkrecht steht,

$$x \sin\gamma \cos\alpha - y \cos\gamma \cos\alpha - z \sin\alpha = V \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3a),$$

und endlich eine dritte Ebene, die auf der Blicklinie senkrecht steht,

$$x \cos\gamma + y \sin\gamma - r = W \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3b).$$

so sind $U$, $V$, $W$ rechtwinkelige Coordinaten des Punktes $(x, y, z)$ bezogen auf das System dieser drei Ebenen und

$$\frac{1}{m^2} U^2 + \frac{1}{n^2} V^2 = W^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3c)$$

ist die Gleichung eines Kegels zweiten Grades, der seine Spitze im Mittelpunkte des rechten Auges hat und dessen drei Hauptaxen in den Schnittlinien der Ebenen

$$U = 0, \qquad V = 0, \qquad W = 0$$

liegen.

Die Schnittlinie des Kegels 3 c) mit der Ebene, $x = 0$, ist gegeben durch die Gleichung

$$y^2 \cos^2\gamma \left\{\frac{\sin^2\alpha}{m^2} + \frac{\cos^2\alpha}{n^2}\right\} + z^2 \left\{\frac{\cos^2\alpha}{m^2} + \frac{\sin^2\alpha}{n^2}\right\}$$

$$+ 2yz \cos\gamma \cos\alpha \sin\alpha \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

$$= y^2 \sin^2\gamma - 2ry \sin\gamma + r^2.$$

Wenn wir nun verlangen, dafs bei derjenigen Raddrehung des Auges, wo $\alpha = 0$, diese Schnittlinie ein Kreis sei, mufs sein

$$\frac{\cos^2\gamma}{n^2} - \sin^2\gamma = \frac{1}{m^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3\text{ d}).$$

Für symmetrische Stellungen des andern Auges mufs gleichzeitig $\gamma$ und $\alpha$ negativ genommen werden. Setzen wir also

$$x \sin\gamma \sin\alpha + y \cos\gamma \sin\alpha + z \cos\alpha = U''$$

$$-x \sin\gamma \cos\alpha - y \cos\gamma \cos\alpha + z \sin\alpha = V''$$

$$x \cos\gamma - y \sin\gamma - r = W''$$

so ist 678

$$\frac{1}{m^2} U''^2 + \frac{1}{n^2} V''^2 = W''^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3\text{ e})$$

die Gleichung eines entsprechenden Kegels, dessen Axe die Blicklinie des zweiten Auges ist, dessen Spitze im Mittelpunkte dieses Auges liegt, und der, wenn $\alpha = 0$ gemacht wird, die Ebene $x = 0$ und die ihr parallelen Ebenen ebenfalls in einem Kreise schneidet, wie der Kegel 3 c).

Ist nun die Stellung der Augen $\alpha = 0$ eine mit Raddrehung verbundene Stellung derselben, und die Schnittlinie der beiden Kegel ein objectiv vorhandener Kreis, so wird das Netzhautbild nach den oben gegebenen Regeln so gedeutet, als wären dieselben Netzhautbilder ohne Raddrehung erhalten worden. Das scheinbar vorhandene Object mufs also eine Schnittlinie der Kegel 3 c) und 3 e) sein. Wenn wir deren Gleichungen von einander subtrahiren, so bleiben nur diejenigen Glieder stehen, welche in beiden verschiedenes Vorzeichen haben, diese sind:

$$-\frac{1}{m^2} y \cos\gamma \sin\alpha \,(x \sin\gamma \sin\alpha + z \cos\alpha)$$

$$-\frac{1}{n^2} y \cos\gamma \cos\alpha \,(x \sin\gamma \cos\alpha - z \sin\alpha)$$

$$= y \sin\gamma \,(x \cos\gamma - r).$$

Diese Gleichung wird erfüllt, wenn entweder

$$y = 0$$

oder

$$x \sin\gamma \cos\gamma \left[\frac{\sin^2\alpha}{m^2} + \frac{\cos^2\alpha}{n^2} + 1\right] + z \cos\gamma \cos\alpha \sin\alpha \left[\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right] = r \sin\gamma.$$

Die erste Schnittlinie läge also in der Medianebene, und wird sich nicht leicht als Object darstellen, die Ebene der zweiten wird mit Berücksichtigung der Gleichung 3 d)

$$x\,(1 - \sin^2\alpha \sin^2\gamma) - z \sin\gamma \sin\alpha \cos\alpha = \frac{r n^2}{(n^2+1)\cos\gamma} \quad . \quad . \quad . \quad 3f).$$

Für den Fall, dafs $\alpha = 0$, wird diese Gleichung

$$x = \frac{r n^2}{(n^2+1)\cos\gamma} = x_0.$$

Die Schnittlinie der beiden Kegel liegt also in diesem Falle in der Entfernung $x_0$ vor der Ebene, $x = 0$, in einer dieser parallelen Ebene, und ist ein Kreis. Wenn $\alpha$ nicht gleich Null ist, ist die Ebene der Schnittlinie geneigt gegen die Ebene $x = 0$ um einen Winkel $\eta$, dessen Tangente ist

$$\operatorname{tang} \eta = \frac{\sin\gamma \sin\alpha \cos\alpha}{1 - \sin^2\gamma \sin^2\alpha}$$

und sie schneidet die Visirebene $z = 0$ in der Linie

$$x = \frac{x_0}{1 - \sin^2\alpha \sin^2\gamma},$$

also etwas entfernter vom Auge, als vorher. Die Schnittlinie ist in diesem Falle eine Ellipse.

679 Die nahehin verticalen Axenebenen der beiden Kegel

$$V = 0 \text{ und } V' = 0$$

schneiden sich in der geraden Linie, deren Gleichungen sind

$$\left.\begin{array}{r} x \sin\gamma = y \operatorname{tang} \alpha \\ y = 0 \end{array}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4),$$

für $\alpha = 0$ werden die Gleichungen dieser Linie

$$x = 0, \qquad z = 0.$$

Eine zur Visirebene senkrechte Linie erscheint also bei der Raddrehung $\alpha$ beider Augen gegen die Ebene $x = 0$ geneigt unter dem Winkel $\eta'$, dessen Tangente ist

$$\operatorname{tang} \eta' = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha \,.\, \sin\gamma}.$$

Wenn nun die Winkel $\alpha$ und $\gamma$, wie dies bei den praktisch ausführbaren Versuchen immer der Fall sein wird, klein sind, so ist

$$\operatorname{tang} \eta' > \operatorname{tang} \eta.$$

Der senkrechte Durchmesser des Kreises erscheint also stärker gegen die Ebene $x = 0$ geneigt, als die Ebene des Kreises, und daher scheint er sich vom Kreise zu lösen, wie dies RECKLINGHAUSEN beobachtet hat. Da gerade die horizontal verlaufenden Theile der Kreislinie nur eine sehr unbestimmte binoculare Localisation geben, so kann der Kreis auch verbogen erscheinen, wo der Durchmesser ihn schneidet, ohne sich von ihm zu lösen.

Betrachtet man nicht einen Kreis, sondern Ellipsen, so findet die Gleichung 3 d) nicht statt, und man findet, dafs Ellipsen mit längerer verticaler Axe sich im Sinne einer verticalen Linie neigen müssen, dieser desto näher kommend, je schmaler sie sind. Ellipsen dagegen mit längerer horizontaler Axe neigen sich entgegengesetzt, auch um so stärker, je schmaler sie sind.

**Abänderung des Linsenstereoskops von HELMHOLTZ.** Da die Entfernung entsprechender Punkte in den gewöhnlichen photographischen Stereoskopenbildern nicht immer gleich der der Augen ist, sie zuweilen auch verschiedene Höhe über der Grundlinie haben, so mufs man, um eine möglichst natürliche Projection der Objecte zu erreichen, das Instrument jedem Bilde adaptiren können. In einem Stereoskop, was ich von OERTLING in Berlin erhalten hatte, war dies in einfachster Weise dadurch erreicht, dafs zwei prismatische Linsen in zwei cylindrischen, drehbaren Röhren safsen. Je nachdem man den brechenden Winkel der Prismen mehr nach einwärts oder nach auswärts stellte, konnte man eine gröfsere oder geringere Convergenz der Augen hervorbringen und auch Höhenunterschiede corrigiren. In anderer Weise, wobei die Einstellung leichter wird und die Unregelmäfsigkeiten der Brechung in prismatischen Gläsern möglichst klein bleiben, habe ich denselben Zweck erreicht in dem in *Fig. 238* perspectivisch und in *Fig. 239* (S. 830) im Querschnitt in ²/₅ der natürlichen Gröfse dargestellten Instrumente. Der Zweck desselben ist namentlich auch stärkere Vergröfserungen anwenden zu können, als die gewöhnlichen Stereoskope geben, wobei man einen dem natürlichen noch mehr entsprechenden Eindruck erreicht. Doch ist zu bemerken, dafs fast nur Photographien auf Glas eine solche stärkere Vergröfserung ertragen. Der Kasten ist ähnlich dem des Stereoskops von BREWSTER mit prismatischen Linsen eingerichtet; durch die Schlitze parallel der Bodenplatte $A\,A$, welche selbst gröfstentheils durch eine mattgeschliffene Glasplatte gebildet ist, wird das Bild eingeschoben. Der Beschauer blickt durch die beiden cylindrischen Röhren $B_0\ B_1$, welche nur centrirte Convexlinsen, nicht Prismen[1], enthalten, darauf hin. Beide Röhren enthalten zunächst dem Auge eine Linse von 12 Centimeter Brennweite und gegen ihr unteres Ende hin eine solche von 18 Centimeter Brennweite. Die letztere kann ausgeschraubt werden, wenn man nur die gewöhn-

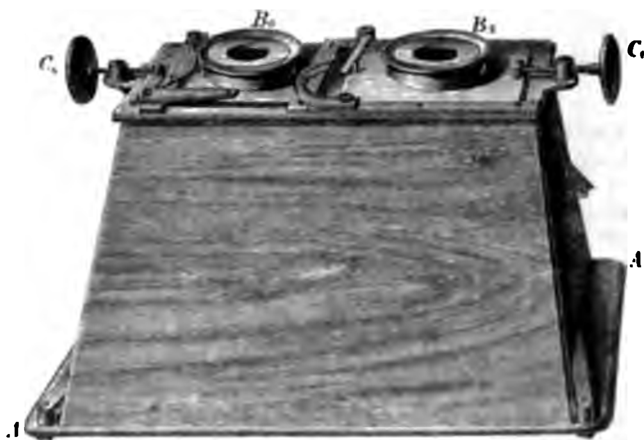


Fig. 238.

680

[1] Auch CLAUDET hat bemerkt (Proc. Roy. Soc. VIII [illegible]), dass es richtiger ist und natürlichere Bilder giebt, wenn man Landschaftsbilder durch Linsen mit parallelen Gesichtslinien combinirt.

liche Vergrößerung der Stereoskope zu haben wünscht, bei welcher aber die Bilder (Landschaften) meist kleiner erscheinen als das wirkliche Object dem unbewaffneten Auge von dem betreffenden Standpunkte aus erscheinen würde. Jede der Röhren $B_0$ und $B_1$ sitzt in einem zwischen Schienen verschiebbaren rechtwinkeligen Schlitten, sodaſs $B_0$ in der Richtung von oben nach unten (beziehlich zum Beobachter), $B_1$ dagegen von rechts nach links verstellt werden kann durch Drehung der Schrauben $C_0$ und $C_1$. In *Fig. 238* ist dargestellt, wie die Schrauben auf die Schlitten wirken, $C_1$ unmittelbar, $C_0$ mittels eines Winkelhebels.

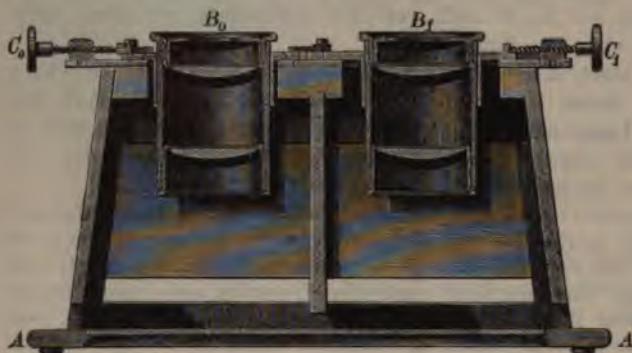



*Fig. 239.*

Ich pflege die Röhren erst so weit herauszuziehen, bis das photographische Bild im Brennpunkte der Concavlinsen steht, was sich leicht erkennen läſst, wenn man von unten auf die matte Glasplatte blickt und das Bild entfernter heller Objecte auf der Fläche der stereoskopischen Darstellung auffängt. Ist der Beschauer kurzsichtig, so lasse ich ihn lieber durch die ihm gewöhnte Brille hineinsehen. Dadurch daſs man das Bild in den Brennpunkt der Linsen bringt, hat man den Vortheil, daſs es erstens auch bei Bewegungen des Kopfes vor den Gläsern wie ein unendlich entferntes Object erscheint; zweitens daſs die Deckung der Bilder auch nicht gestört wird, wenn der Beobachter den Kopf nach der Seite neigt. Namentlich also, wenn man das Stereoskop fest aufstellt und den Beschauer davor treten läſst, um hindurchzusehen, so erhält er, was die Formen betrifft, in allen Beziehungen denselben optischen Eindruck, als blickte er nach den entfernten reellen Objecten. Die Schrauben $C_0$ und $C_1$ werden dann gebraucht, um den Stand der beiden optischen Bilder zu corrigiren. Indem ich meine Augen etwas convergiren lasse, erzeuge ich Doppelbilder von irgend einem hell hervortretenden Objecte, und sehe zu, ob diese gleich hoch neben einander stehen; wenn nicht, so corrigire ich mit der Schraube $C_0$ so lange, bis dies der Fall ist. Die Einstellung in den Brennpunkt
681 kann man dann noch genauer controlliren, wenn man seitliche Neigungen des Kopfes macht. Um annähernd die richtige Convergenz hervorzubringen, gehe ich mit dem Kopfe etwas zurück von den Gläsern, blicke über das Stereoskop fort nach wirklichen Gegenständen und vergleiche deren Entfernung mit der scheinbaren der Objecte im Stereoskop. Danach läſst sich dann mittels der Schraube $C_1$ leicht die nöthige Correction machen.

Die Objecte erscheinen durch ein solches Instrument gesehen bei richtiger Einstellung nicht nur viel gröſser und viel entfernter, sondern auch körperlicher als durch die gewöhnlichen Instrumente, welche fast immer zu starke Convergenz verlangen und deshalb die Gegenstände als Basreliefs erscheinen lassen. Man hat auch den sehr wesentlichen Vortheil, daſs man die sonst so leicht eintretende Ermüdung und Schmerzhaftigkeit der Augen hierbei gänzlich vermeiden kann.

Auſser dem schon genannten Spiegelstereoskop von Wheatstone, dem Linsenstereoskop von Brewster in seinen verschiedenen Modificationen, dem Pseudoskop, welches auch gebraucht werden kann, um je zwei Zeichnungen mit einander zur Deckung zu bringen, können auch stereoskopische Wirkungen mit nur einer Zeichnung und einem Prisma erzeugt werden.[1] Wenn die Zeichnung nämlich einen zur Medianebene

[1] Dove, *Poggend. Ann.* LXXXIII. 183. *Berliner Monatsberichte.* 1850, p. 152. Brewster *Phil. Mag.* (4) III, 16—26. *Rep. of Brit. Assoc.* 1849, 2, p. 5.

des Beschauers symmetrisch gebildeten Gegenstand darstellt, so wie er vom rechten Auge gesehen wird, so würde die entsprechende Ansicht des linken Auges ihr symmetrisch oder ihrem Spiegelbilde congruent sein. Statt der zweiten Zeichnung kann man also auch wirklich ein Spiegelbild der ersten setzen, indem man mit dem linken Auge durch ein rechtwinkeliges Glasprisma parallel dessen Hypotenusenfläche hindurchsieht, wobei, wie mehrfach schon erwähnt ist, der Beschauer ein in der Hypotenusenfläche durch totale Reflexion entworfenes Spiegelbild des Objectes sieht. Das rechte Auge blickt inzwischen direct nach der Zeichnung. Wenn man die Bilder beider Augen zum Decken bringt, sieht man das körperliche Relief. Nimmt man das Prisma vor das linke Auge, so sieht man das umgekehrte Relief. Man kann auf diese Weise oft Zeichnungen zu stereoskopischen Effecten benutzen, die gar nicht dazu bestimmt sind, wie zum Beispiel photographische Porträts, welche von vorn mit einer sehr kleinen Abweichung nach einer Seite hin aufgenommen worden sind.

Aehnliche stereoskopische Effecte erreichte Dove[1], indem er nach einer passenden Zeichnung mit einem astronomischen und einem Galilei'schen Fernrohr von gleicher Vergröfserung hinsah. Ersteres kehrt die Zeichnung um, letzteres nicht. Man kann hierzu dieselben Zeichnungen brauchen, wie für das einfache Prismenstereoskop, nur mufs die obere Hälfte des dargestellten Körpers auch mit der untern symmetrisch sein.

Das einfache Telestereoskop ohne Vergröfserung habe ich oben beschrieben; ich habe ein ähnliches Instrument mit zwei Fernröhren construiren lassen, mit welchem man entfernte Gegenstände in ihrer körperlichen Form stereoskopisch sehen kann. Der optische Theil des Instruments ist dargestellt in *Fig. 240*, bei der in der untern Hälfte, zwischen $n_1$ und $h_1$ $h_1$ ein Stück des Rohres ausgelassen ist, damit die Figur auf der Seite Platz findet. Man mufs die Figur sich so ergänzt denken, dafs in der unteren Hälfte die Entfernung zwischen $n_1$ und $h_1$ $h_1$ ebenso grofs ist, wie in der oberen Hälfte die Entfernung 681
zwischen $n$ und $h$ $h$. Das Licht, was von den Objecten kommt, wird zunächst aufgefangen durch die beiden ebenen Spiegel $a a$ und $a_1$ $a_1$. Diese Spiegel müssen aber von der gröfsten Vollendung sein, weil sie sonst bei der Vergröfserung durch die Fernröhre verzerrte Bilder geben. Durch drei Schrauben werden sie gegen die Platte $k$ und $k'$ angezogen, während zwischen ihnen und der Platte Federn liegen, die sie so weit entfernen, als die Schrauben es zulassen. Mittels der Schrauben kann man die Stellung der Spiegel so weit abändern, dafs die Bilder beider Seiten zusammenfallen. Die Objectivlinsen der Fernröhre liegen bei c und $c'$. Sie sind in Röhren eingesetzt, welche mittels der gezahnten Triebe $i$ und $i'$, die in gezahnte Stangen $h$ und $h'$ eingreifen, hin und hergeschoben werden können, um die Focaldistanz des Fernrohrs reguliren zu können. Zwei Ocularlinsen eines terrestrischen Oculars liegen bei $d$ und $e$. Dann fällt das Licht auf das Prisma $b$, um in den Seitenröhren auf die dritte und vierte Ocularlinse $g$ zu fallen. Das Prisma $b$ kann mittels der in den dahinter liegenden

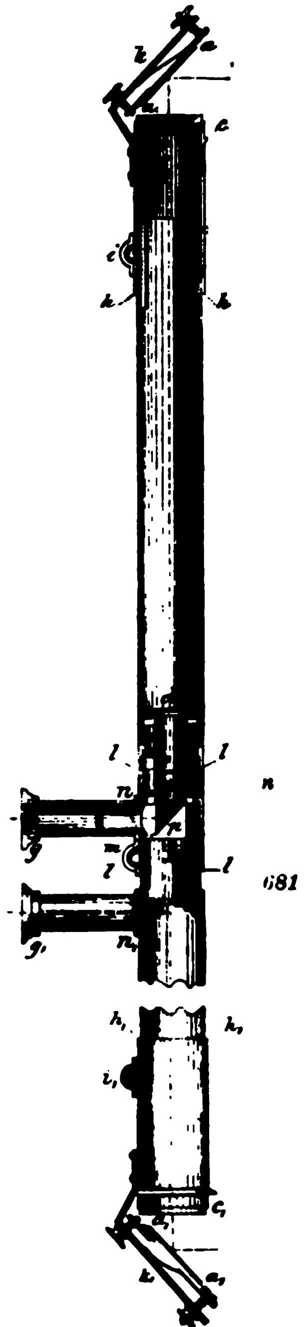


*Fig. 240.*

[1] Dove, *Poggend. Ann.* LXXX 446. *Berliner Monatsberichte* 1850, p. 152.

682] Metallklotz *p* eingreifenden Schraube verschoben werden, um die optische Axe der beiden Theile des Fernrohrs in Uebereinstimmung zu setzen. Endlich dient der gezahnte Trieb *m* dazu, die beiden Ocularröhren mit den ganzen Fernröhren von einander zu entfernen oder einander zu nähern, um sie der Augendistanz des Beobachters anzupassen.

Da die Entfernung der Spiegel an dem Instrumente 1080 Millimeter beträgt, so ist sie 16 mal gröfser als die der menschlichen Augen, und die stereoskopischen Unterschiede werden also 16 mal gröfser, als für die unbewaffneten Augen. Da die Vergröfserung auch eine sechszehnmalige ist, so ist die Wirkung des Instruments die, als sähe man das Object mit unbewaffneten Augen aus einer sechszehnmal kleineren Entfernung, als man es wirklich sieht.

Den entgegengesetzten Effect von dem telestereoskopischen erhält man nach einer Bemerkung von Oppel,[1] wenn man zwei einander congruente Körper in der Entfernung der Augen von einander, beide gleich gerichtet, aufstellt und mit parallelen Gesichtslinien betrachtet.

S t e r e o s k o p i s c h e s   M i k r o s k o p. Ein solches nach Nachet's Construction ist dargestellt in *Fig. 241.* Bei *a* ist das Objectivlinsensystem. Das durchtretende Strahlenbündel trifft zunächst auf das kleine reflectirende Glasprisma bei *b*, die eine Hälfte des Strahlenbündels geht an diesem vorbei und durch das Rohr *E* zum Ocular *e*, um in das eine Auge des Beobachters zu fallen. Die andere Hälfte des Strahlenbündels dagegen, welche in das beinahe rechtwinkelige Prisma *b* eintritt, wird von dessen Hypotenusenfläche reflectirt und gegen das zweite Prisma *c* hin geworfen, um hier noch einmal reflectirt zu werden in das Rohr *F* hinein und zum Ocular *f*, durch welches es in das andere Auge des Beobachters fällt. Mittels der Schraube *g* kann das ganze Rohr *F* mit dem Prisma *c* dem Rohre *E* genähert oder von ihm entfernt werden, um das Instrument dem Abstande der beiden Augen des jedesmaligen Beobachters anzupassen. Da die Lichtbündel, welche aus den Ocularen *e* und *f* austreten, sehr schmal sind, so mufs ihre Entfernung der der Pupillen genau gleich sein, damit beide Augen ein Bild empfangen. In den englischen Instrumenten ähnlicher Art sind beide Röhren fest verbunden, und die Accommodation für die Augendistanz des Beobachters wird dadurch erreicht, dafs man die Ocularstücke der Röhren mehr oder weniger herauszieht.

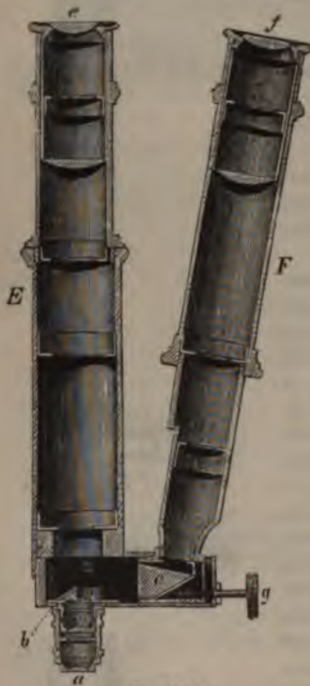


*Fig. 241.*

Die stereoskopische Wirkung bei diesen Instrumenten ist sehr auffallend und erleichtert die Beobachtung von Objecten verwickelterer Form aufserordentlich. Sie kommt vermittels ganz anderer Umstände zu Stande als in den übrigen stereoskopischen Instrumenten. Wir haben in diesem Falle nämlich keine von zwei verschiedenen Standpunkten aus aufgenommenen Bilder des Objects, da das eine Objectivlinsensystem des Mikroskops die beiden Bilder für beide Augen entwirft und nur die eine Hälfte des Lichts an das eine Auge, die andere an das andere vertheilt wird. Eine stereoskopische Wirkung kommt hier nur deshalb zu Stande, weil allein die Punkte der Focalebene des Mikroskops ein punktförmiges Bild geben; alle Punkte aber, die vor oder hinter der Focalebene liegen, geben kleine Zerstreuungskreise, und wegen der Halbirung des Strahlenbündels fällt die eine Hälfte eines jeden Zerstreuungskreises in das rechte, die andere in das linke Auge. Da nun die rechte Hälfte des Zerstreuungskreises anders liegt als die linke, so kommt dadurch eine stereoskopische Wirkung zu Stande.

[1] Oppel, *Jahresbericht des Frankfurter Vereins* 1858—59, p. 64—75.

Nach den auf Seite 77 bis 80 gegebenen Regeln können die Hauptpunkte und Brennpunkte des ganzen optischen Systems eines Mikroskops leicht gefunden werden. Der erste Hauptpunkt liegt unterhalb des Objectivglases, der erste Brennpunkt ebenfalls, aber dem Objectiv näher. Der zweite Haupt- und Brennpunkt liegen oberhalb des Oculars, und zwar wieder der Brennpunkt diesem näher. Das Auge des Beobachters können wir uns im zweiten Brennpunkte befindlich denken und $p$ die Brennweite des ganzen Systems nennen. Sind nun $f$ und $\varphi$ die Entfernungen beziehlich des Objects vom ersten Brennpunkte nach oben und des Bildes vom zweiten Brennpunkte nach unten, so ist nach S. 70 Gleichung 7 b) 683

$$\varphi = \frac{p^2}{f}.$$

Bezeichnet $b$ die Gröfse des Objects, $\beta$ die seines Bildes, so ist

$$\frac{\beta}{b} = \frac{p-\varphi}{f-p} = \frac{p}{f} = \frac{\varphi}{p}.$$

Denken wir uns nun das Auge accommodirt für das Bild $\beta$, und vor oder hinter dem Gegenstande $b$ noch ein anderes Object $b'$, welches, da jenes erste durchsichtig ist, mit ihm zugleich gesehen werden kann, und dessen Entfernung vom Brennpunkte $f'$ sein mag, so ist die Entfernung seines Bildes vom Auge und vom zweiten Brennpunkte

$$\varphi' = \frac{p^2}{f'},$$

woraus folgt

$$\varphi' - \varphi = p^2 \cdot \frac{f-f'}{f \cdot f'}.$$

Der Winkel, unter dem die Strahlen vom Bilde $b$ aus in das Objectivglas fallen, sei $a$, der zugehörige Divergenzwinkel der Strahlen des Bildes $\beta$ sei $\alpha$, so ist nach Seite 71, Gleichung 7 d) und Seite 75, Gleichung 9)

$$b \operatorname{tang} a = \beta \operatorname{tang} \alpha$$

oder

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{f}{p} \operatorname{tang} a$$

und ebenso für die Bilder $b'$ und $\beta'$ nebst den zugehörigen Divergenzen der Strahlen $a$ und $\alpha'$ ist

$$\operatorname{tang} \alpha' = \frac{f'}{p} \operatorname{tang} a'.$$

Der Radius $\varrho$ des Zerstreuungskreises in der Ebene des Bildes $\beta$, für welche das Auge accommodirt ist, ist, wie leicht ersichtlich,

$$\varrho = (\varphi' - \varphi) \operatorname{tang} \alpha' = \frac{p}{f} (f - f') \operatorname{tang} a'.$$

Da nur Gegenstände beobachtet werden können, für welche der Zerstreuungskreis sehr klein ist, also $\varphi' - \varphi$ und $f' - f$ sehr klein sind, so kann die Veränderlichkeit des Winkels $a'$ für verschiedene sichtbare Objecte und sein Unterschied vom Winkel $a$ vernachlässigt werden, und wir können deshalb unter dieser Beschränkung die letzte Gleichung schreiben

$$\varrho = \frac{p \operatorname{tang} a}{f} \cdot (f - f').$$

Nun fällt von diesem Zerstreuungskreise bei der beschriebenen Einrichtung des stereoskopischen Mikroskopes die eine Hälfte in das rechte, die andere in das linke Auge. Dadurch wird jede zur Visirebene verticale Linie des Bildes, sei sie nun isolirt gezogen oder Theil einer gleichmäfsig gefärbten Fläche, verwandelt in einen Streifen
684 von der Breite $\varrho$, so dafs die Verbreiterung in dem einen Bilde nach rechts hin, im anderen nach links hin geschieht. Zwei solche Streifen haben also in den beiden Bildern eine stereoskopische Parallaxe gleich $\varrho$ im Vergleich mit den Punkten der Focalebene.

Ist $f'$ kleiner als $f$, liegt also das Object weiter vom Objectivglase als diejenigen Punkte, für deren Bild das Auge accommodirt ist, so ist $\varphi'$ gröfser als $\varphi$, das heifst das Bild von $b'$ liegt unterhalb des Bildes von $b$, und in der Ebene von $b$ sind die Strahlen des Bildes $b'$ schon gekreuzt. Dann fällt die rechte Hälfte des Zerstreuungskreises in das rechte Auge des Beobachters, die linke in das linke Auge, die stereoskopische Parallaxe ist also negativ, verglichen mit der des Bildes $b$, und $b'$ scheint, wie es wirklich liegt, hinter $b$ zu liegen. Dabei gelangt die eine Hälfte des Zerstreuungskreises durch doppelte Spiegelung in das entsprechende Auge des Beobachters und erscheint deshalb nicht von rechts nach links verkehrt, sondern in natürlicher Lage.

Umgekehrt verhält sich alles, wenn das Object $b'$ oberhalb $b$ liegt.

In den Instrumenten von Nachet kann man den Schieber, der die Prismen enthält, so weit hervorziehen, dafs das kleine Glasprisma $b$ der *Fig. 240* vor die andere (rechte) Hälfte der Oeffnung tritt, dann erhält man einen pseudoskopischen Effect; was in Wirklichkeit unten liegt, erscheint dann oben.

Aehnlich wirkt der binoculare Augenspiegel, welcher in *Fig. 242* nach Nachet's Construction abgebildet ist. $A$ ist ein Concavspiegel von Glas, von dessen




*Fig. 242.*

Mitte die Belegung weggenommen ist. Die vordere und hintere Fläche des Glases haben gleiche Krümmung, so dafs es die Strahlen ungebrochen durchgeben läfst. Der Spiegel dient zur Beleuchtung des zu beobachtenden Auges. Zwischen ihn und das Auge wird eine Convexlinse gehalten, deren reelles umgekehrtes Bild der Beobachter betrachtet, wie in dem auf Seite 218 *Fig. 110* schematisch dargestellten Versuche. Das Licht, welches vom beobachteten Auge kommt, theilt sich hinter der Oeffnung, indem es auf die beiden reflectirenden Prismen $a$ und $b$ fällt. Das Prisma $a$ hat einen parallelogrammatischen Querschnitt; zwei seiner Winkel sind gleich halben Rechten. Die Prismen $b$ und $c$ zusammengenommen bilden ein Prisma von derselben Gestalt, wie $a$, welches aber quer durchschnitten ist, damit man den Theil $c$ mittels der Schraube $d$ dem andern Theil $b$ nähern und davon entfernen kann. Dadurch wird das Instrument der Augendistanz des Beobachters angepafst. Die Strahlen, welche durch die mittlere Oeffnung zuerst rechtwinkelig in die vordere Fläche des Prisma $a$ eingetreten sind, werden dann von der kleinen Seite des Parallelogramms gegen die zweite nach aufsen gekehrte kleine Seite reflectirt, und von dieser letztern zum zweiten Male reflectirt gegen die Oeffnung $e$ hin, und treten durch diese aus in das eine Auge des Beobachters. Die zweite Hälfte der Strahlen, welche in das Prisma $b$ eintreten, werden ebenso von dessen geneigter Fläche gegen die geneigte Fläche von $c$ reflectirt, und von dieser gegen die Oeffnung $h$ hin, um in das zweite Auge des Beobachters zu fallen. In die Oeffnungen $e$ und $h$

sind schwach brechende Prismen eingesetzt, damit der Beobachter mit schwach convergenten Blicklinien das gemeinsame Bild betrachten kann. Die Prismen sitzen in je einem Schieberchen, welches aufserdem noch zwei andere Prismen mit convexen Flächen enthält, die, wenn sie vorgeschoben werden, zugleich vergröfsernd wirken.

Die vortheilhafteste Stellung der Convexlinse, durch welche man beobachtet, ist, wenn sie ein Bild der Pupille des beobachteten Auges auf die Oeffnung des Spiegels wirft, wie auf Seite 218—221 erörtert ist. Unter diesen Umständen fällt das Licht, 685
was durch die rechte Hälfte der Pupille kommt, in das links gelegene Prisma *a*, und das von der linken Seite der Pupille kommende in das rechts gelegene Prisma *b*. Das rechte Auge des Beobachters sieht also den Hintergrund des beobachteten Auges, wie er von der linken Hälfte der Pupille aus erscheint, das linke Auge, wie er von ihrer rechten Hälfte aus erscheint. Da das Bild übrigens auch verkehrt ist, so giebt dies einen richtigen stereoskopischen Effect, der sehr merklich und für die medicinische Beobachtung des Augenhintergrundes sehr nützlich ist.

Schliefslich will ich hier noch die eigenthümliche Methode der Stereoskopie von Rollmann[1] erwähnen. Er zeichnet beide Projectionen auf dieselbe schwarze Tafel, die eine mit rothen Linien, die andere mit blauen. Dann nimmt er vor das eine Auge ein rothes Glas, vor das andere ein blaues und sieht nun mit jenem nur die rothen Linien, mit diesem nur die blauen, die sich dann zum Relief verbinden lassen. Wenn man blaue und rothe Gläser vertheilt, kann man eine solche Zeichnung vielen Personen zu gleicher Zeit zeigen. J. C. d'Almeida entwirft die betreffenden Bilder mittels zweier Linsen, vor deren eine ein rothes, vor die andere ein grünes Glas eingeschaltet ist, auf einen Schirm.

Es können übrigens die verschiedenartigsten brechenden und spiegelnden Apparate gebraucht werden, um die für stereoskopische Zwecke gewünschte Verschiebung der Bilder hervorzubringen, wobei bald beide, bald nur ein Bild verschoben wird. Wie Wheatstone ursprünglich zwei Planspiegel benutzt hat, so hat Brewster[2] ein ähnliches mit zwei Spiegeln, ein anderes mit einem Spiegel, das letztere entweder mit einer oder zwei Zeichnungen beschrieben. Statt der Spiegel können auch, wie Dove[3] und Brewster vorgeschlagen haben, total reflectirende Prismen, eines oder zwei, im letzteren Falle wieder je eines vor ein Auge, oder beide zum Reversionsprisma verbunden, vor ein Auge gestellt, gebraucht werden. Ebenso genügt ein schwach brechendes Prisma mit ebenen Flächen, um eines der Bilder bis zur Deckung mit dem andern zu verschieben. E. Wilde[4] brauchte zu demselben Zweck das doppelt reflectirende Prisma einer *Camera lucida*.

Um ohne Ablenkung der Lichtstrahlen die Combination stereoskopischer Bilder zu erzielen, schlägt Brewster vor, vor sie eine Glasplatte mit einem schwarzen Fleckchen, welches man fixirt, in passender Entfernung zu halten. Faye[5] wendet einen Schirm mit zwei Löchern an, so dafs jedes Auge nur die zugehörige Zeichnung sieht, Elliot[6] zwei gekreuzte Röhren, durch die das rechte Auge das linke Bild sieht und umgekehrt. Zu bemerken ist, dafs wegen der Schwierigkeit die passende Accommodation herzustellen weitsichtige Beobachter leichter bei gekreuzten Gesichtslinien, kurzsichtige bei ungekreuzten combiniren.

J. Duboscq[7] hat prismatische Linsen in ein Operngluckerstativ gesetzt und dadurch die an der Wand hängende Doppelzeichnung betrachtet, so dafs man durch Näherung und Entfernung die Convergenz der Augenaxen verändern kann, wodurch das Relief vergröfsert oder verkleinert wird. — Um beliebig grofse Bilder zu combiniren, stellt er

[1] Rollmann, *Poggend. Ann.* XC, 186—187.
[2] Brewster, *Phil. Magaz.* (4) III, 16—26.
[3] Dove, *Poggend. Ann.* LXXXVIII, 183.
[4] E. Wilde, *Poggend. Ann.* LXXXV, 63—67.
[5] Faye, *Comptes rendus.* XLIII, 673—674. *Poggend. Ann.* XCIX, 641—642.
[6] Elliot, *Phil. Mag.* (4) XIII, 78.
[7] J. Duboscq, *Cosmos.* I, 97—104; 703—705.

in seinem Panoramenstereoskop die Bilder über einander und zwei, um eine horizontale Axe drehbaren, neben einander stehenden Spiegeln gegenüber. Der Beobachter blickt zwischen den Bildern oder unter ihnen hindurch nach den Spiegeln, die so gestellt sind, dafs die entsprechenden Theile der Bilder sich decken. Die Bilder können beliebig breit gemacht werden und vor den Augen des Beobachters vorbeigleiten. Eine andere Form zur Combination grofser Bilder, die dem Stereoskop von Brewster ähnlicher ist, mit achromatischen ebenflächigen Prismen und davon getrennten Linsen, beide verschiebbar, um Correctionen des Bildes auszuführen, hat Duboscq später beschrieben.[1]

686 In das Panoramenstereoskop können statt der Bilder nun auch rotirende stroboskopische Scheiben eingesetzt werden, so dafs man die bewegten Figuren auch körperlich sieht. Diese Einrichtung giebt das Stereophantaskop oder Bioskop. Ein Instrument, was dasselbe Resultat giebt, hat Czermak[2] unter dem Namen Stereophoroskop beschrieben. Er wählte dazu das gewöhnliche Linsenstereoskop, für welches beide Bilder auf einen und denselben Pappstreifen neben einander geklebt werden. Diese Pappstreifen mit ihren je zwei Bildern wurden an den Seitenflächen eines mehrseitigen um eine horizontale Axe drehbaren Prisma befestigt. Um das Prisma herum in der Entfernung von einigen Zollen von den Bildern läuft noch ein Gürtel von Pappdeckelstücken, in welche die nöthigen Oeffnungen eingeschnitten sind, um in den richtigen Momenten die Zeichnungen zu sehen. Aufserhalb dieses Gürtels wird die Prismencombination eines Brewster'schen Stereoskops festgestellt, so dafs der Beobachter durch sie und durch die vorbeipassirenden Spalten nach den Bildern hinsehen kann.

C. Clarke[3] hat das Brewster'sche Stereoskop mit einem Fusse versehen, Kilbarn[4] es zum Zusammenlegen eingerichtet. Smith und Beck[5] haben einen Fufs, eine festere Bahn für die Bilder, reichlichere Beleuchtung von allen Seiten, achromatische Linsen angebracht, Samuel[6] eine Vorrichtung, um die Entfernung der Bilder von den Linsen der Sehweite des Beobachters anzupassen.

Eigenthümlich ist die Einrichtung von Claudet's Stereomonoskop.[7] Er bemerkte, dafs die Bilder einer *Camera obscura*, auf einer mattgeschliffenen Glasplatte entworfen und binocular betrachtet, etwas stereoskopisches Relief zeigen. Die Erscheinung erklärt sich dadurch, dafs jedes Auge auf der matten Glasplatte diejenigen Strahlen am stärksten sieht, welche in Richtung seiner eigenen Gesichtslinie auffallen. Er construirte darauf das Stereomonoskop, welches mittels zweier Linsen zwei zusammengehörige stereoskopische Bilder auf dieselbe Stelle einer matten Glasfläche entwirft. Wenn die Glasplatte binocular betrachtet wird, sieht jedes Auge nur das für dasselbe bestimmte Bild, und es entsteht der Eindruck des Reliefs.

Um Veränderungen in der Stellung der Bilder für Untersuchungen über den optischen Effect solcher Verschiebungen vornehmen zu können, hat Wheatstone[8] an seinem oben beschriebenen Spiegelstereoskope die parallelen Wände, an denen die Bilder aufgestellt sind, auf Schlitten verschiebbar gemacht; aufserdem sind die beiden Arme des Stereoskops drehbar um eine feste Axe zwischen den beiden Spiegeln, so dafs man den Convergenzwinkel der Augen verändern kann. Hardie[9] hat zu ähnlichem Zwecke, um pseudoskopische Reliefs hervorzubringen, ein dem später von mir construirten und oben beschriebenen Telestereoskope ähnliches Instrument mit zwei Spiegelpaaren construirt. Man kann damit die Bilder bald verkehrt, bald in ihrer wahren Lage zeigen,

---

[1] Duboscq, *Comptes rendus.* XLIV, 148—150.

[2] Czermak, *Wiener Ber.* XV, S. 463—466. Ein anderes ähnliches Instrument Stereotrope von Shaw in *Proc. Royal Soc.* XI, 70—73.

[3] C. Clarke, *Cosmos.* III. 123.

[4] Kilbarn, *Cosmos.* III, 770.

[5] Smith und Beck, *Athenaeum.* 1858, II, 269—270. *London J. of Arts.* Juni 1860.

[6] Samuel, *Rep. of Brit. Assoc.* 1858, 2, p. 19.

[7] Claudet, *Proc. Royal Soc.* IX, 194—196.

[8] Wheatstone, *Phil. Transact.* 1852, p. 1—17.

[9] Hardie, *Phil. Magaz.* (4) V, 442—446.

das Relief übertreiben, schwächen oder umkehren. H. Meyer[1] hat zu demselben Zwecke die Bilder des Wheatstone'schen Spiegelstereoskops nach ihrer Fläche verschiebbar gemacht, und eine Scale zur Messung der Verschiebungen hinzugefügt. Doch hat die von Wheatstone vorgeschlagene Einrichtung, wo sich die Bilder im Kreise bewegen und ihr Abstand von den Augen ganz unverändert gelassen werden kann, wohl den Vortheil, daſs sie bei Seitenverschiebungen der Bilder die Netzhautbilder derselben ganz unverändert läſst, während bei Meyer's Einrichtung kleine Correctionen wegen der Veränderlichkeit des Abstandes der Bilder von den Augen bei Verschiebungen längs einer ebenen Fläche berechnet werden müssen.

Aehnliche Veränderungen[2] der Convergenz bei der Betrachtung wirklicher Körper hat Rollet erreicht, indem er vor jedes Auge schräg gerichtet eine planparallele dicke 687
Glasplatte stellte. Je nachdem deren vordere Flächen der Nasenseite oder der Schläfenseite des betreffenden Auges zugekehrt sind, machen sie die Blicklinien divergenter oder convergenter. Die Erscheinungen waren dabei den Erfahrungen von Wheatstone entsprechend.

Stereoskopenbilder sind theils durch perspectivische Construction der betreffenden Zeichnungen verfertigt und durch Lithographie oder Kupferstich vervielfältigt worden,[3] theils durch Photographie. Unter den ersteren sind nur die nicht schattirten Linienzeichnungen geometrischer Gestalten, regelmäſsiger Körper oder Krystallmodelle von guter Wirkung. Sie sind gleichzeitig die evidentesten Beispiele der stereoskopischen Wirkungen, da hier alle Mittel der Beleuchtung und Schattirung fehlen, welche die Täuschung unterstützen könnten. Zu ihrer Construction gehört aber eine auſserordentliche Genauigkeit, wenn sie nicht verzerrt aussehen sollen, da schon die allerkleinsten Abweichungen sehr merkliche Veränderungen des Reliefs nach sich ziehen können. Es können ganz auſserordentlich verwickelte geometrische Gestalten durch dieses Mittel zu einer klaren körperlichen Anschauung gebracht werden. Da übrigens dergleichen Zeichnungen überall käuflich zu haben sind, so gebe ich hier keine Beispiele derselben. Die bisherigen Versuche, dergleichen lithographirte Figuren auch zu schattiren, sind ziemlich miſslungen, weil die Abstufungen des Schattens in den beiden entsprechenden Figuren nicht gleichmäſsig genug gemacht werden können. Der Hilfsapparat von Rood zur Construction solcher Zeichnungen ist schon oben S. 814 erwähnt worden.

Weit vollkommener ist die Wirkung der stereoskopischen Photographien, die zuerst von Moser in Königsberg gemacht wurden, deren Anfertigung schon einen ausgedehnten Industriezweig bildet und in denen wir Landschaften und Gebäude aller Theile der Erde, Statuen, Thiere, Blumen u. s. w. dargestellt finden. Dieselben wurden anfangs meist so gemacht, daſs man mit derselben *Camera obscura* nach einander Ansichten des Objects von zwei verschiedenen Punkten aufnahm. Das hatte aber den Nachtheil, daſs bei heller Sonnenbeleuchtung die Schlagschatten während der Zeit zwischen der ersten und zweiten Aufnahme ihren Ort wechselten und dann einen falschen Effect in dem Bilde machten. Diese Schatten erscheinen dann mitunter wie körperliche in der Luft befindliche dunkle Schirme. Ich fand einen solchen Effect an einem Bilde von Paris, wo durch die Stellung des Zeigers an der Uhr eines Kirchthurms constatirt werden konnte, daſs nur fünf Minuten zwischen der Aufnahme der beiden Bilder vergangen waren. Dazu kommt die Schwierigkeit der zwei zu präparirenden lichtempfindlichen Platten u. s. w. In neuerer Zeit werden deshalb nach D. Brewster's[4] Vorschlag vielfach Instrumente mit zwei Objectivgläsern benutzt, welche auf zwei verschiedenen Abschnitten derselben Platte gleich die beiden Bilder geben. Die Centra der beiden Objectivlinsen haben den Abstand der menschlichen Augen von einander, oder auch wohl einen etwas gröſseren, 70 bis 75 Millimeter, und die *Camera obscura* selbst bildet also gleichsam ein

[1] H. Meyer, *Poggendorff's Annalen.* LXXXV, 198—207.
[2] Rollet, *Wiener Sitzungsber.* XLII, 488—502.
[3] Hessemer hat sehr gute der Art herausgegeben und die Regeln der Construction besprochen in *Dingler's polytechn. Journal* LXXXIX, 111—121.
[4] D. Brewster, *Phil. Mag.* 4; III. 26—30; 1852. *Rep. of Brit. Assoc.* 1849 2, p. 5.

umgekehrtes Stereoskop. Diese Instrumente sind sehr zweckmäſsig zur Aufnahme naher Gegenstände und sie geben unmittelbar die Ansicht, wie sie ein am Orte des Instruments ruhig weilender Beobachter von dem Objecte gehabt haben würde. Sie haben namentlich den Vortheil, daſs man bei scharfer Sonnenbeleuchtung durch instantane Exposition der Platte gute Bilder von beweglichen Objecten, Menschen, Thieren, Schiffen, ja selbst prachtvolle Bilder der Wellen einer bewegten Wasseroberfläche erzielen kann. Aber sie genügen eigentlich nicht für Landschaften mit weit entfernten Objecten, weil die Distanz der Gesichtspunkte zu klein ist, um in diesen hinreichend groſse Unterschiede zu erhalten, und die ferneren Theile der Landschaft deshalb gewöhnlich ganz flach aussehen.[1] Für diese ist es besser, eine Art telestereoskopischer Wirkung zu erzielen, dadurch daſs man zwei Aufnahmen von zwei entfernten Punkten macht. So habe ich zum Beispiel unter den sehr vollendeten photographischen Landschaften von BRAUN
688 in Dornach Abbildungen des Wetterhorn von je zwei verschiedenen Punkten von Grindelwald aus gefunden, zwei desselben Berges von zwei verschiedenen Punkten der Bachalp aus, ebenso der Jungfrau von Mürren aus, welche eine ausgezeichnete schöne Modellirung der Bergform geben, wenn man die ursprünglichen Bilderpaare aus einander schneidet und je zwei aus verschiedenen Paaren combinirt, die also gröſserer Distanz der Gesichtspunkte entsprechen, als wenn man die zusammengehörigen combinirt. Im letzteren Falle erkennt man die körperliche Form der Berge ebenso wenig, wie ein stillsitzender Beobachter; im ersteren erkennt man sie besser, ähnlich einem Beobachter, der hin- und hergeht und die nach einander entstehenden Ansichten des Berges vergleicht.

Stereoskopische Abbildungen mikroskopischer Gegenstände von sehr schöner Wirkung sind von BABO[2] angefertigt worden. Bei der Aufnahme wurde die Neigung des Objecttisches gegen die Axe des Mikroskops für die beiden Bilder verschieden gemacht und so die stereoskopische Parallaxe gewonnen.

Bewegliche Bilder hat J. G. HALSKE verfertigt. Zuerst machte er in einem Doppelbilde, einen abgestumpften Kegel darstellend, die mittleren kleinen Kreise in einer horizontalen Linie verschiebbar. Am hübschesten war aber die Erscheinung zu sehen auf einer schwarzen horizontalen kreisförmigen Scheibe von etwa drei Zoll Durchmesser, die um ihre Axe sich sehr leicht drehte und, einmal angestossen, ziemlich lange in Bewegung blieb. Auf dieselbe wurde eine kleinere weiſse Kreisscheibe (Oblate) gelegt und die Scheibe mit einem Auge durch ein passend befestigtes total reflectirendes rechtwinkeliges Prisma betrachtet, mit dem andern frei. Wenn sich der kleinere Kreis bei der Drehung rechts vom Mittelpunkt befand, sah ihn das freie Auge rechts, das durch das Prisma schauende Auge aber wegen der Spiegelung links vom Mittelpunkte, und so wurde die stereoskopische Parallaxe hergestellt. Der kleine Kreis schien durch die Fläche des groſsen hindurch wechselnd bald aufzusteigen, bald hinabzusinken.

Geschichtliches. Die älteren Ansichten über die Tiefenwahrnehmung schlossen sich zunächst an die Frage über die scheinbar verschiedene Gröſse des Mondes. PTOLEMAEUS (150 n. Chr.) sagt schon, daſs die Seele von der Gröſse der Gegenstände nach einer vorgefaſsten Schätzung ihrer Entfernung urtheilt; diese scheine gröſser, wenn viele Gegenstände zwischen dem Auge und der betrachteten Sache liegen, wie es der Fall ist, wenn die Himmelskörper nahe beim Horizont sind.[3] An einer andern Stelle freilich schreibt er die Vergröſserung der Brechung der Strahlen durch die Dünste zu.[4] ALHAZEN[5] (im 10. Jahrh.) widerlegt die letztere Ansicht und kehrt zur ersteren zurück. Ihm

[1] Ueber die Wahl des Winkels CLAUDET im *Cosmos*, IV, 65—67, 1847. — SUTTON im *Cosmos*, IX. 313—319.

[2] BABO, *Bericht der Freiburg. Ges.* II, 312—314.

[3] MONTUCLA, *Hist. des Mathém.* Vol. I, p. 309. — ROGERI BACONIS *Perspect.*, p. 118. — PRIESTLEY, *Geschichte der Optik*, übersetzt von KLÜGEL, p. 11—12 — GREGORY *Geometria. Pars univers.*, p. 141. — MALEBRANCHE, *Recherche de la vérité.* P. I. — HUYGENS in SMITH *Opticks.* Art. 586. — LOGAN in *Phil. Trans.* XXXIX, 404.

[4] Almagest, L. III, c. 3. Auch STRABO, *Geogr.* I, 3.

[5] ALHAZEN, L. VII, p. 53—54.

pflichtet ROGER BACO bei, während PORTA[1] es bestreitet. VITELLIO[2] (1270) schliefst sich ALHAZEN an und macht auch darauf aufmerksam, dafs überhaupt das Himmelsgewölbe am Horizont scheinbar entfernter sei, als im Zenith. KEPLER,[3] dem sich CARTESIUS[4] im Wesentlichen anschlofs, sagt über die Beurtheilung der Entfernung schon, die Entfernung der beiden Augen sei die Grundlinie, deren man sich zur Messung der Entfernung der gesehenen Objecte bediene. Und weil ein Auge von beiden Augen diese Art zu messen lerne, so könne auch bei verhältnifsmäfsig kleinen Entfernungen die Breite des Sterns im Auge als Grundlinie dienen. Dann bemerkt er weiter, dafs man auch mit einem Auge die verschiedenen Grade des Lichts zu schätzen und die Gröfse mit der Entfernung der Sache durch die Uebung zu vergleichen wisse, indem man durch die Erfahrung lerne, wie weit man die Hand darnach auszustrecken und dahin zu gehen habe. Er kannte also schon die Hauptmomente dieser Beurtheilung, abgesehen von der Verschiedenheit der Bilder.

GASSENDI[5] konnte indessen in Bezug auf den Mond wieder behaupten, er erscheine gröfser in der Nähe des Horizonts, weil dann wegen des schwächeren Lichts die Pupille sich erweitere. HOBBES[6] ging auf die Erklärungen der Alten zurück und bestimmte die 689
scheinbare Gestalt des Himmelsgewölbes als ein Stück einer Kugelfläche. Pater GOUYE,[7] MOLYNEUX[8] und SAMUEL DUNN[9] bemerkten dagegen, dafs es nicht nöthig sei, Gegenstände zwischen dem Auge und dem Monde zu haben, und dafs doch die Täuschung nicht (wenigstens nicht immer) aufhöre. DESAGULIERS[10] arrangirte Versuche, wobei die Zuschauer zu falschen Schlüssen über die Entfernung inducirt wurden und demgemäfs auch die Gröfse falsch beurtheilten. BERKELEY[11] hob das trübe Ansehen und die Lichtschwäche des Mondes am Horizonte hervor, Umstände, die jedenfalls einen sehr deutlichen Einflufs haben. Auch SMITH[12] untersuchte den Einflufs der scheinbaren Gestalt des Himmelsgewölbes; er stellte eine Reihe Schätzungen an über scheinbar gleiche Distanzen, die bald dem Zenith, bald dem Horizont näher gelegen waren, und fand, dafs die Entfernung des Horizonts scheinbar drei bis vier Mal gröfser sei, als die des Zeniths. LAMBERT[13] verglich den Querschnitt des Himmelsgewölbes mit einer Muschellinie. Auch die Gestalt und Breite des Regenbogens wird dadurch verändert, er erscheint flach elliptisch, seine Mitte schmaler als die Fufspunkte; ebenso werden Sonnenhöfe, Sterndistanzen scheinbar verändert. SMITH hat auch folgenden hübschen Versuch angegeben. Wenn man in den Brennpunkt einer Convexlinse eine kleine kreisrunde Oblate stellt, so erscheint deren Bild, durch die Linse gesehen, immer unter demselben Gesichtswinkel, wie weit auch der Beobachter sich entferne, so lange seine Ränder überhaupt noch durch die Linse sichtbar sind. Scheinbar wächst aber die Gröfse des Bildes aufserordentlich, wenn sich der Beobachter entfernt, weil wir es nicht in unendlicher Entfernung, sondern noch hinter der Linse befindlich denken.

SMITH, der gegen BERKELEY's Einmischung der Luftperspective polemisirte, mufs indessen doch zugeben, dafs der Mond am Horizont bald gröfser, bald kleiner aussieht. Auch EULER[14] schliefst sich BERKELEY an.

Den Einflufs, den die scheinbare Entfernung auf die Schätzung der absoluten Gröfse

---

[1] PORTA, *De refractione*, p. 24, 128.
[2] VITELLIO, *Optica*, Editio RISNERI, p. 412. Basel 1572.
[3] KEPLER, *Paralipomena*, p. 62–66. 1604.
[4] CARTESIUS, *Dioptr.* p. 68. *De homine*, p. 66–71.
[5] GASSENDI, *Opera* Vol. II. p. 325.
[6] ROBINS *tracts*. Vol. II, p. 241–244.
[7] GOUYE, *Mém. de l'Acad. de Paris* 1700, p. 11.
[8] MOLYNEUX, *Philos. Transact.* Vol. I, p. 221.
[9] SAMUEL DUNN, *Philos. Transact.* Vol. LII. p. 462.
[10] DESAGULIERS, *Philos. Transact.* Vol. VIII, p. 130.
[11] BERKELEY, *Essay toward a new theory of vision.* Dublin 1709. p. 30. — ROBINS *mathemat. tracts.* II, 242.
[12] SMITH, *Optik*, deutsche Ausg. S. 418.
[13] LAMBERT, *Beiträge* I, § 60–78.
[14] EULER, *Briefe an eine deutsche Prinzessin* S. 317.

hat, hoben auch MALEBRANCHE und BOUGUER[1] gegen VARIGNON[2] hervor. Ueber die Mittel, die Entfernung zu beurtheilen, sprachen sich DE LA HIRE[3] und PORTERFIELD[4] ebenfalls den bisher erwähnten Ansichten entsprechend aus.

Umkehrung des Reliefs ist auch schon früh bemerkt worden und zwar zuerst bei der Betrachtung durch umkehrende Mikroskope oder Teleskope von JABLOT[5] und G. P. GMELIN,[6] und wurde von RITTENHOUSE[7] auf verkehrte Beleuchtung geschoben. MUNCKE[8] hob dagegen hervor, dafs sie auch bei der Betrachtung durch eine einfache Loupe eintreten kann. ABAT fügte die hübsche Beobachtung hinzu, dafs, wenn man eine mit Wasser halb gefüllte Glasflasche im umgekehrten Bilde eines Hohlspiegels betrachtet, der leere Theil gefüllt, der gefüllte leer erscheint, weil man die Flüssigkeit sich immer unterhalb der Grenzfläche denkt. Die neueren Ermittelungen und Ansichten über die Umkehrung des Reliefs sind oben schon angeführt worden.

Dafs die Bilder, welche beide Augen von einem körperlichen Gegenstande erhalten müfsten, etwas verschieden seien, hatten EUKLID, GALEN, PORTA, AGUILONIUS[9] schon gewufst und Schwierigkeiten darin gefunden. LEONARDO DA VINCI[10] hob schon hervor, dafs bei dem zweiäugigen Sehen von Körpern dadurch ein Unterschied gesetzt werde, der durch kein Gemälde nachgeahmt werden könnte. SMITH[11] blickte mit parallelen
690 Gesichtslinien nach den beiden Schenkeln eines Cirkels, die bis zur Augendistanz geöffnet waren, und bemerkte plötzlich, wie sich beide Schenkel zu einem vereinigten, der in weite Entfernung hinauszureichen schien. Es war dies eine stereoskopische Wahrnehmung. Aehnliche Wahrnehmungen an Linealen und Fäden sind von WELLS[12] gemacht worden.

Wie viel die Verschiedenheit der Bilder beider Augen zur Unterscheidung der Tiefendimensionen beiträgt, wurde aber erst durch WHEATSTONE's geistreiche Erfindung des Stereoskops nachgewiesen. Die erste Nachricht davon wurde 1833 veröffentlicht,[13] die ausführliche Beschreibung der Erscheinungen und ihre Theorie 1838.[14] Nach D. BREWSTER's Angaben[15] hätte ein Mathematiker J. ELLIOTT in Edinburg es ebenfalls im Jahre 1834 erfunden und 1839 veröffentlicht. Ein Dritter, der die Erfindung in Anspruch nimmt, ist G. MAYNARD.[16] WHEATSTONE kann jedenfalls den Vorrang der Priorität behaupten, und ist auch sein Aufsatz von 1838, der die Beschreibung des Spiegelstereoskops enthält, voll von einer reichen Menge von Versuchen und Beobachtungen, durch welche alle wesentlichen hierher gehörigen Verhältnisse deutlich dargelegt und erwiesen werden. Später wurde im Jahre 1859 von Dr. A. BROWN[17] im Museum Wicar in Lille eine Doppelzeichnung von JACOPO CHIMENTI (geboren 1554, gestorben 1640) gefunden, einen Mann darstellend, der auf einem Schemel sitzt und in der einen Hand einen Cirkel, in der andern einen Lothfaden hält. Die beiden Zeichnungen, stereoskopisch vereinigt, geben eine Art von Relief. D. BREWSTER glaubte annehmen zu dürfen, dafs sie von CHIMENTI zur Prüfung der Theorie von PORTA, die 1593

---

[1] MALEBRANCHE und BOUGUER, *Mém. de l'Académie.* 1755, p. 99 u. 156.
[2] VARIGNON, *Ebenda.* 1717.
[3] DE LA HIRE, *Mém. de Paris.* 1694.
[4] PORTERFIELD, *Treatise on te eye.* 1769.
[5] JABLOT, *Description de plusieurs nouveaux microscopes.* 1712.
[6] G. P. GMELIN, *Philos. Transact.* 1747.
[7] RITTENHOUSE, *Transact. of the American Philos. Society.* 1786. II.
[8] MUNCKE, *Gehler's physik. Wörterbuch,* neu bearbeitet. Leipzig 1828. IV. 1455.
[9] Siehe BREWSTER *the stereoscope, its history, theory and construction.* London 1856.
[10] LEONARDO DA VINCI, *Trattato della pittura.*
[11] SMITH, *System of Optics.* II, 388 u. 526.
[12] WELLS, *Essay upon single vision with two eyes.* 1792. Zweite Aufl. 1818.
[13] In H. MAYO *Outlines of human physiology.* p. 288.
[14] C. WHEATSTONE, *Philosophical Transactions.* 1838. P. II. S. 371—394.
[15] D. BREWSTER, *Liverpool and Manchester Photographic Journal.* 1857. January 1, p. 4—7. — January 15. p. 21—23.
[16] G. MAYNARD. *Toronto Royal Standard.* 1836. *Toronto Times.* 1857. October 8.
[17] A. BROWN, *Photographic Journal.* 1860, May 15. — *Encyclop. Britann.* Artikel: *Stereoskope.*

veröffentlicht war, ausgeführt seien. Seitdem sind photographische Abbildungen dieser Zeichnungen in den Handel gekommen. Die beiden Bilder des Mannes sind in der That von verschiedenen Gesichtspunkten aus aufgenommen; ich muſs indessen gestehen, daſs ich es für unwahrscheinlich halte, daſs der Zeichner sie für einen stereoskopischen Versuch bestimmt habe; denn gerade der Sessel, der Cirkel und der Faden, welche leicht richtig zu construiren gewesen wären, sind als Nebendinge behandelt und so unregelmäſsig und verschiedenartig gezeichnet, daſs sie sich nicht vereinigen lassen. Und hätte der Zeichner die Theorie prüfen wollen, so müſste man eher erwarten, daſs die leicht zu zeichnenden Dinge richtig, die schwer zu zeichnenden, wie die Gestalt des Menschen, ungenau gemacht worden wären. Es scheint mir wahrscheinlicher, daſs der Zeichner, mit der ersten Figur nicht ganz zufrieden, sie noch einmal von einem etwas anderen Standpunkte aus gezeichnet und zwar zufällig auf dasselbe Blatt.

Die jetzt gewöhnliche Form des Linsenstereoskops wurde von D. Brewster 1843 veröffentlicht. Die Uebersicht der weiteren Erfindungen gibt die weiter unten folgende Uebersicht der Literatur; die Geschichte der Theorie dieser Erscheinungen wird bei den nächsten Paragraphen folgen. Die Untersuchungen über die Fehler der reinen binocularen Localisation sind von Recklinghausen,[1] E. Hering,[2] J. Towne und mir selbst[3] in Angriff genommen worden, bedürfen aber noch vielfach erneuerter Wiederholung und Erweiterung von andern Beobachtern.

## § 31. Das binoculare Doppeltsehen.

Wir haben bisher die Erscheinungen des zweiäugigen Sehens betrachtet, 695
insofern sie sinnliche Zeichen für eine bestimmte Lage der gesehenen Raumobjecte sind. Es bleibt noch übrig, die subjectiven Erscheinungen, die sich hierbei zeigen, zu untersuchen.

Ich habe oben auseinandergesetzt, wie im monocularen Sehen neben der Anschauung der wirklichen Vertheilung der Objecte nach den drei Dimensionen des Raumes sich, wenn man auf die Art, wie sie gesehen werden, achtet, die Anschauung ihrer Vertheilung in dem flächenhaften Gesichtsfelde ausbildet. Wenn nun mit zwei Augen gesehen wird, so erscheinen die Gegenstände in dem Sehfelde jedes Auges, aber da die Bilder in beiden Sehfeldern, wie wir schon gesehen haben, im Allgemeinen nicht gleich sind, so können sie sich im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde auch nicht absolut decken, sondern es bleiben gewisse Ungleichheiten beider Sehfelder bestehen und werden wahrgenommen. In diesem Kapitel sollen die Erscheinungen betrachtet werden, welche von der Ungleichheit der räumlichen Verhältnisse der Bilder beider Sehfelder herrühren, im nächsten die, welche von der ungleichen Beleuchtung oder Färbung der Sehfelder oder ihrer Theile verursacht werden.

Es ist wohl zu beachten, daſs diese Betrachtungsweise des Gesichtsfeldes als solchen, nicht die natürliche und zuerst erworbene Art des Wahrnehmens ist, sondern vielmehr stets erst durch bewuſste Reflexion auf die Beschaffenheit unserer Gesichtseindrücke veranlaſst wird. Wir betrachten dann nicht mehr die Welt der Objecte an sich, wie sie *ist*, sondern wir beobachten, wie sie uns von unserem dermaligen Standpunkte aus *erscheint*.

---

[1] Recklinghausen, *Netzhautfunctionen im Archiv für Ophthalmologie.* V. 147—17[illegible]

[2] E. Hering, *Beiträge zur Physiologie.* Leipzig 1864. 4. und 5. Heft.

[3] H. Helmholtz, *Archiv für Ophthalmologie.* X, 1, S. 27—40.

Es ist dann wesentlich die Erscheinung, die uns interessirt, entweder weil wir sie als Zeichner nachbilden, oder als Physiologen theoretisch untersuchen wollen.

So wie wir nun im zweiäugigen Sehen anfangen das Gesichtsfeld als solches zu untersuchen, bemerken wir, dafs die Ordnung der Objecte in den beiden Sehfeldern nicht übereinstimmt. Indem wir zum Beispiel durch das Fenster nach den Bäumen draufsen sehen, sind wir im Stande, das Laubwerk mit dem linken Auge noch etwas weiter nach rechts hin zu verfolgen, als mit dem rechten. Wir sehen mit jenem Auge am rechten Rande des Fensters noch Theile des Laubwerks, die wir mit dem rechten nicht sehen können, welche für das rechte durch den Rahmen des Fensters verdeckt sind. Wir sehen also den Rahmen des Fensters in den beiden Gesichtsfeldern an zwei verschiedene Theile der Laubmasse angrenzen.

Ebenso verdeckt das Fensterkreuz dem rechten Auge einen andern Theil der Laubwand, als dem linken. Indem wir also der Laubwand mit
696 dem Blicke folgen, tritt uns zwei Mal das Fensterkreuz an zwei verschiedenen Stellen entgegen, die Laubwand, wenn auch unvollständig verdeckend. Das Fensterkreuz erscheint also in zwei Stellen des Gesichtsfeldes, es erscheint doppelt.

Wenn man dagegen den Blick auf das Fensterkreuz oder die Glasscheiben richtet und ihn entlang wandern läfst über die kleinen Flecken der einen Scheibe, dann über den mittleren verticalen Balken des Kreuzes, dann über die andere Scheibe, so kann es kommen, dafs ein Baumstamm, der im Gesichtsfelde des rechten Auges rechts neben und hinter dem verticalen Holze erscheint, für das linke Auge links daneben liegt. Also wird auch das fernere Object in der durchlaufenen Reihenfolge der betrachteten Punkte zwei Mal vorkommen und doppelt erscheinen.

Wir haben in § 28 gesehen, dafs wir die Reihenfolge der Punkte im Gesichtsfelde nicht blos durch wirkliche Bewegung bestimmen können, sondern sie auch lernen nach der Reihenfolge ihrer neben einander liegenden Netzhautbilder im Auge zu beurtheilen. Wir brauchen also auch nicht den Blick wirklich über das Gesichtsfeld hingehen zu lassen, um die Doppelbilder zu sehen, sondern können dauernd einen Punkt fixiren und doch die verschiedene Anordnung der Objecte in beiden Sehfeldern erkennen. Wenn dasselbe Object entweder auf verschiedenen Seiten des fixirten Punktes erscheint, oder aber die Gröfse und Richtung seines Abstandes vom Fixationspunkte in hinreichend auffallender Weise verschieden ist, wird man erkennen, dafs das betreffende Object in zwei verschiedene Stellen des Gesichtsfeldes eingeordnet erscheint.

Es seien in *Fig. 243* $b_0$ und $b_1$ die beiden Augen, welche den Punkt $a$ fixiren, der ihnen demnach einfach an seinem wahren Orte im Raume erscheint. Der Punkt $c$, welcher näher als $a$ ist, wird dem Auge $b_0$ rechts von dem Punkte $a$ im Gesichtsfelde erscheinen müssen, da $c$ rechts von der Gesichtslinie $ab_0$ liegt. Dem Auge $b_1$ erscheint aber der Punkt $c$ links von $a$ zu liegen.

Also kommt er im gemeinsamen Gesichtsfelde einmal rechts, einmal links von $a$ vor, erscheint also doppelt, und zwar in sogenannten ungleichnamigen Doppelbildern, da das scheinbar rechts liegende Bild von $a$ dem linken Auge, das scheinbar links liegende dem rechten Auge angehört.

Umgekehrt ist es mit dem entfernter liegenden Punkte $d$. Er erscheint im Gesichtsfelde des rechten Auges $b_1$ rechts neben $a$, in dem des linken Auges links neben $a$, folglich in gleichnamigen Doppelbildern.

Ein etwas anderer Fall ist der in *Fig. 244* dargestellte; $b_0$ und $b_1$ sind wieder die Augen, $a$ der gemeinsame Fixationspunkt. Der Punkt $c$ liege aufserhalb des Winkels $b_0 a b_1$, in geringerem Abstande von den Augen als der Fixationspunkt. Dies Mal liegt $c$ allerdings in den Gesichtsfeldern beider Augen nach links von $a$, weil die Richtungslinien $cb_0$ und $cb_1$ beide nach links beziehlich von $ab_0$ und $ab_1$ liegen. Aber der Winkel $cb_0a$ ist viel kleiner, als der Winkel $cb_1a$. Im Gesichtsfelde von $b_0$ ist also $c$ um einen viel kleineren Winkel von $a$ entfernt, als im Gesichtsfelde des andern Auges. Ist diese Differenz merklich genug, so erscheint das Bild wieder an zwei verschiedenen Orten des gemeinsamen Gesichtsfeldes, also doppelt. Die Doppelbilder sind aber in diesem Falle nicht so deutlich, als wenn sie auf verschiedenen Seiten des Fixationspunktes liegen, wie in *Fig. 243*. Namentlich 69

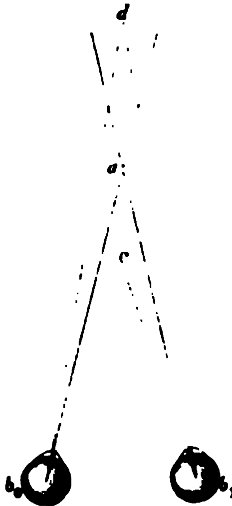



Fig. 243.




Fig. 244

wenn sie sich mehr von $a$ entfernen und in die Seitentheile des Gesichtsfeldes zu liegen kommen, mufs ihr Abstand und der Unterschied ihrer Helligkeit von der der Umgebung schon ziemlich bedeutend sein, wenn sie bemerkt werden sollen. Etwas deutlicher werden sie, wenn sich zur Seite von $a$, etwa gleich weit von den Augen abstehend wie $a$, ein scharf bezeichnetes Object $f$ zwischen den verlängerten Schenkeln des Winkels $b_0cb_1$ befindet,

so dafs im gemeinsamen Gesichtsfelde die Doppelbilder von *c* auf verschiedenen Seiten von *f* liegen. Man hat dann im Gesichtsfelde des Auges $b_0$ die scheinbare Reihenfolge *acf*, in dem von $b_1$ die Folge *afc*. Dann ist es leichter die Trennung der Bilder zu erkennen, als wenn man sie vor einem gleichmäfsig gefärbten und erleuchteten Hintergrund sieht.

Endlich kann man auch Doppelbilder sehen, wenn die Bilder desselben Punktes in den Gesichtsfeldern beider Augen zwar gleiche Distanz von dem fixirten Punkte haben, aber hinreichend verschiedene Richtung, dafs deren Unterschied auffällig genug ist.

Dies ist der Fall, wenn der Punkt *c* höher oder tiefer und gleichzeitig den Augen ein wenig näher als der Punkt *a* gelegen ist.

Wir sehen also diejenigen Objectpunkte im Allgemeinen doppelt, welche in beiden Sehfeldern hinreichend verschiedene scheinbare Lage beziehlich zum Blickpunkte haben, dafs diese Verschiedenheit durch die Schätzung des Augenmaafses bemerkt werden kann. Solche Objecte dagegen, welche scheinbar gleiche Lage gegen den Fixationspunkt im Sehfelde haben, sehen wir einfach.

Ich will ein von beiden Augen als einfach gesehenes Bild ein Ganzbild nennen, die zwei Bilder zusammengenommen, welche von demselben Objecte entworfen werden, welches nicht einfach gesehen wird, ein Doppelbild, jedes einzelne der letzteren dagegen ein Halbbild.

Wir haben nun näher zu untersuchen, welche Punkte beider Sehfelder scheinbar gleiche Lage zum Fixationspunkte haben und also im gemeinsamen
698 Gesichtsfelde sich decken. Ich nenne solche Punkte Deckpunkte oder correspondirende Punkte; man hat sie auch, einer besonderen theoretischen Auffassung zu Liebe, identische Punkte genannt. Da jedem Punkte jedes Sehfeldes ein Netzhautpunkt entspricht, so kann man auch von Deckpunkten, correspondirenden oder identischen Punkten der beiden Netzhäute reden. Punkte, welche einander nicht correspondiren, nenne ich mit Fechner disparat.

1. Die Blickpunkte der beiden Sehfelder normaler Augen sind Deckpunkte. Der Blickpunkt jedes Sehfeldes entspricht der anatomisch ausgezeichneten Stelle der Netzhaut, der Mitte der *Fovea centralis*, der Stelle des deutlichsten Sehens. Der Blickpunkt ist der fixirte Punkt des Gesichtsfeldes. Mit dem ausgesprochenen Satze gleichgeltend ist es also auch zu sagen, der fixirte Punkt des vor uns liegenden Raumes werde stets einfach gesehen, und ein Objectpunkt, der sich auf den beiden Centren der Netzhautgruben abbilde, werde einfach gesehen.

Es ist dies ein Satz, der sich bei allen Beobachtungen normaler Augen bestätigt, von gewissen Fällen des Schielens, wo er Ausnahmen erleidet, werden wir unten handeln.

Wenn wir nach dem Grunde dieses Verhaltens fragen, so kommen wir auf die viel besprochene Frage, warum wir mit zwei Augen doch einfach sehen. Wenn man die Sinnesempfindungen einfach als Zeichen ansieht, deren

Deutung erlernt werden mufs, so bietet die Beantwortung keine besondere Schwierigkeit. Fast alle äufseren Objecte afficiren gleichzeitig verschiedene Nervenfasern unseres Körpers und bringen zusammengesetzte Sinnesempfindungen hervor, die wir in ihrer Zusammensetzung als das gegebene sinnliche Zeichen des betreffenden Objects auffassen lernen, ohne uns der Zusammensetzung dieses Zeichens selbst bewufst zu werden. Im Gegentheil lernen wir die zusammengesetzte Beschaffenheit der Empfindung in den bei weitem meisten Fällen dieser Art erst durch wissenschaftliche Analyse kennen. Die Empfindung einer bestimmten Klangfarbe ist zusammengesetzt aus einer Mehrzahl von Empfindungen vieler einfacher Töne; einen Stift, den wir in der Hand halten, fühlen wir mit zwei Fingern und also durch zwei Gruppen getrennter Nervenfasern, wir riechen denselben Geruch mit zwei Nasenhöhlen, das scheinbar einfache Gefühl des Nassen, welches ein berührter Körper erzeugt, ist aus dem des Glatten und des Kalten zusammengesetzt u. s. w. In der That ist kein Grund, aus einer complicirten Wirkung auf ein so complicirtes Reagenz, wie unser Körper ist, auf ein entsprechend complicirtes Object zu schliefsen.

Es wird also im Allgemeinen durchaus von der Erfahrung abhängen, ob eine häufig wiederkehrende Gruppe von Empfindungen als das sinnliche Zeichen eines oder mehrerer Objecte von uns kennen gelernt wird.

Berücksichtigen wir nun, dafs der normale Gebrauch der Augen derjenige ist, wobei wir das Object, welches unsere Aufmerksamkeit zur Zeit fesselt, mit beiden Augen fixiren, also auf den Centren der beiden Netzhautgruben abbilden, mit denen wir es am genausten sehen können, so ergiebt sich daraus, dafs die beiden Centra der Netzhautgruben immer Bilder desselben einen äufseren Objectes abbilden werden, dessen Einheit übrigens 699
durch den Tastsinn, so oft als nöthig, zu constatiren ist, und dafs ihre Empfindungen daher in räumlicher Beziehung immer als gleichgeltend kennen gelernt werden. Wir sehen also einfach mit beiden Blickpunkten, weil beim natürlichen normalen Gebrauche der Augen auf beiden Netzhautgruben immer dasselbe Object abgebildet ist, von dessen nur einmaligem Vorhandensein wir durch den Tastsinn unterrichtet sind oder uns unterrichten können.

Die entgegengesetzte Ansicht dagegen, wonach gewisse Empfindungen unseres Körpers schon vor aller Erfahrung gewisse Raumvorstellungen hervorzurufen im Stande sind, mufs annehmen, dafs die beiden Netzhautcentra ebenso, wie jedes andere Paar zusammengehöriger Deckstellen beider Netzhäute, durch einen angeborenen Mechanismus identische Raumanschauungen geben. Dies war auch der Grund, aus welchem die Deckstellen der Netzhäute zuerst als **identische** Stellen bezeichnet wurden. Eine kritische Vergleichung beider Ansichten läfst sich erst am Schlusse des folgenden Paragraphen geben.

Bei vielen Fallen sogenannten **concomitirenden Schielens** finden sich Ausnahmen von dem Gesetze, dafs die Netzhautgruben Deckstellen sind, namentlich bei solchen Individuen, deren beide Augen annähernd gleich gut

brauchbar zum Sehen sind. Bei der gewöhnlichen Art des Schielens können beide Augen nicht parallel gerichtet werden, sondern stehen entweder convergent oder divergent, und zwar so, dass bei allen Richtungen der Gesichtslinien der Winkel der Convergenz oder Divergenz nahehin die gleiche Grösse behält. Hat ein Auge eine beträchtlich grössere Sehschärfe, als das andere, so pflegt der Kranke die Objecte nur mit dem besseren Auge zu fixiren, und nur wenn man dieses mit der Hand bedeckt, fixirt er sie mit dem andern Auge. Sind beide Augen von ziemlich gleicher Sehschärfe, so ist das Schielen alternirend, das heisst der Patient braucht zum Fixiren bald das eine, bald das andere Auge, beurtheilt übrigens mit beiden Augen die Richtung der gesehenen Gegenstände richtig. In der Mehrzahl dieser letzteren Fälle nun zeigt es sich, dass die beiden Fixationspunkte nicht mehr Deckstellen sind, sondern dem Centrum der Netzhautgrube des einen Auges eine andere, je nach der Richtung des Schielens mehr nach innen oder aussen gelegene Stelle der andern Netzhaut correspondirt. Der Schielende sieht alsdann einfach trotz der falschen Stellung seiner Augen. Der Nachweis, dass er wirklich mit beiden Augen sieht, und nicht etwa bloss das eine Bild vernachlässigt, wie man sonst anzunehmen pflegte, kann geführt werden, wenn man vor eines seiner Augen ein Prisma mit der brechenden Kante nach oben oder unten gekehrt bringt. Er sieht dann, wie ein Normalsichtiger, zwei übereinanderstehende Doppelbilder des Objects. Durch das Prisma wird nämlich das Bild des einen Auges nach oben verschoben, und bei einer solchen Trennung des binocularen Sammelbildes in übereinander stehende Halbbilder kann man leicht und sicher erkennen, ob beide Halbbilder gesehen werden, und ob das eine oder das andere mehr nach rechts oder links steht. Ebenso treten Doppelbilder auf, wenn man vor das eine Auge ein Prisma mit der brechenden Kante nach innen oder aussen gerichtet hält, wodurch das eine Halbbild seitlich verschoben wird, selbst wenn das Prisma so gewählt und so gehalten ist, dass die Bilder des [illegible] auf die beiden Netzhautgruben fallen. [illegible] wenn [illegible] Patienten noch fähig sind, [illegible] Anstrengung die Augen in parallele Stellung zu bringen, [illegible] entfernte [illegible] sehen sie diese doppelt.

Dasselbe geschieht [illegible], wenn durch eine chirurgische Operation des Auges die normale [illegible] wiederhergestellt ist. Die Patienten werden dann in den ersten Tagen [illegible] Doppelbildern sehr [illegible], später lernen sie diese zu übersehen, [illegible] nach einem Jahre oder längerer Zeit [illegible] das normale Identitätsverhältniss hergestellt finden. Doch geschieht das letztere nicht in allen Fällen, namentlich nicht in solchen, wo das eine Auge eine erheblich geringere Sehschärfe hat als das andere. In solchen bleiben meist die nach der Operation auftretenden Doppelbilder in unveränderter Stellung zu einander bestehen, aber das undeutlichere wird bei der Orientirung vernachlässigt. [illegible] diese Vernachlässigung [illegible] selbst mit Hilfe von Prismen und farbigen Gläsern nicht zur Wahrnehmung gebracht werden kann.

Ebenso wie bei geringer Sehschärfe des einen Auges die Patienten nach der Operation sich von den Doppelbildern leichter befreien durch Vernachlässigung des einen, als durch Ausbildung eines neuen Identitätsverhältnisses, so bildet sich auch bei Schielenden mit einem schlecht sehenden Auge weniger leicht die beschriebene Incongruenz der Netzhäute aus. Bei solchen zeigen sich dann selbst nach jahrelangem Schielen noch immer die beiden Netzhautcentra als correspondirend. Dasselbe ist der Fall in allen denjenigen Fällen, wo der Convergenz-, beziehlich Divergenzwinkel, den die Blicklinien miteinander bilden, veränderlich ist, entweder bei verschiedener Richtung des Sehens oder periodisch wechselnd zu verschiedenen Zeiten, weil in solchen Fällen die Bilder, welche die Netzhautgrube des einen Auges treffen, auf sehr verschiedene Stellen der andern Netzhaut fallen und sich defshalb keine feste Gewöhnung der Zusammengehörigkeit ausbilden kann.[1]

Auch zeigte sich in der That bei Schielenden, deren eines Auge verminderte Sehschärfe hat, dafs sie beim Vorhalten eines rothen Glases vor ein Auge Doppelbilder bald sehen, bald plötzlich wieder nicht sehen, ohne dafs sich die Stellung des Auges geändert hat, oder dafs sie nach der der Operation das farbige Bild bald rechts, bald wieder links von dem ungefärbten Bilde sehen, oder gar nicht zu sagen wissen, ob es rechts oder links sei. Bei einem solchen Auge, dessen Bilder wegen ihrer Unvollkommenheit wenig beachtet werden, bleibt, wie es scheint, die Orientirung überhaupt immer eine unsichere, und die Erinnerung an das vor dem Schielen vorhanden gewesene Identitätsverhältnifs kämpft gleichsam mit dem neuen, was sich nicht recht sicher und bestimmt ausbilden kann. ALFRED GRAEFE *701*
bemerkt mit Recht, dafs hier gerade das Schwanken der Aussagen charakteristisch für den Vorgang sei.

2. **Die Netzhauthorizonte beider Augen correspondiren einander.** Ich habe oben auf S. 618 die Netzhauthorizonte für normalsichtige Augen definirt als diejenigen Meridiane beider Augen, welche bei paralleler Richtung derselben in der Primärstellung mit der Visirebene zusammenfallen, und schon angeführt, dafs diese mit einander correspondiren. Bei kurzsichtigen Augen ist das meist nicht der Fall, und ich habe oben schon vorgeschlagen, als Netzhauthorizonte diejenigen Meridiane zu betrachten, welche in die Visirebene fallen bei einer solchen Stellung der Augen, wo eine Reihe Deckstellen beider Netzhäute in der genannten Ebene liegt. Dies wird für kurzsichtige Augen meist eine etwas nach abwärts gerichtete

[1] Der Nachweis, dafs viele Schielende mit beiden Augen und doch einfach sehen, wurde geliefert von PICKFORD in ROSER und WUNDERLICH's *Archiv für physiologische Heilkunde*, 1842, S. 590. Die ersten Fälle von Incongruenz beschrieben durch ALBRECHT V. GRAEFE im *Archiv für Ophthalmologie*, I. 1, 234; darüber auch NAGEL, *Das Sehen mit zwei Augen*. Leipzig, 1861. S. 130–135. Die Resultate aus einer gröfseren Zahl von Beobachtungen giebt ALFRED GRAEFE im *Archiv für Ophthalmologie*, XI. 2, p. 1–46. Ferner F. C. DONDERS im *Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde*, Bd. III, S. 357 und 358; *Anomalies of accommodation and refr.*, p. 164–166. Es sind dies Beobachtungen von fundamentaler Wichtigkeit für die Theorie des Binocularsehens, und wäre eine möglichst häufige und genaue Wiederholung derselben zu wünschen.

Convergenzstellung sein. Dann würde der oben hingestellte Satz nur Consequenz der Definition des Begriffs „Netzhauthorizont" sein. Es ist aber noch zu bemerken, dafs die Netzhauthorizonte auch dadurch ausgezeichnet sind, dafs bei der Lage des Fixationspunktes in der Medianebene für das Augenmaafs ihre Ebenen in der Visirebene zu liegen scheinen.

Genaue Bestimmungen über die Lage der Netzhauthorizonte sind von Volkmann für seine (etwas kurzsichtigen) Augen gegeben worden.[1] An einer ebenen, vor den Augen befindlichen senkrechten Wand waren zwei Drehscheiben so angebracht, dafs der Drehpunkt einer jeden in der optischen Axe des bezüglichen, auf die unendliche Ferne gerichteten Auges lag. Auf jeder Scheibe war eine feine Linie verzeichnet, die entweder einen Durchmesser oder einen Radius bildete und mit der Umdrehung der Scheibe ihre Lage veränderte. Die Gröfse der Drehung konnte mittels einer am Rande der Scheiben angebrachten Gradtheilung gemessen werden.

1. Versuchsreihe: Links ein Durchmesser horizontal gestellt; der Durchmesser der rechten Scheibe wurde gesucht ihm parallel zu stellen. Um die Linien getrennt zu sehen, war es nöthig, den Kopf ein wenig nach der Seite zu neigen. Im Mittel aus 30 Versuchen betrug

der Kreuzungswinkel .................... 0°,443
der wahrscheinliche Beobachtungsfehler ..... 0°,08

2. Versuchsreihe: Der rechte Durchmesser war horizontal gestellt, der linke wurde ihm parallel gestellt; sonst ebenso,

Kreuzungswinkel ............ 0°,553
wahrscheinlicher Fehler ....... 0°,11

3. Versuchsreihe: Der linke Durchmesser liegt horizontal, der rechte wird so eingestellt, dafs er beim Decken mit ihm eine möglichst feine Linie darstellt. Wieder im Mittel aus 30 Versuchen

Kreuzungswinkel ............ 0°,397
wahrscheinlicher Fehler ....... 0°,13

702 4. Versuchsreihe: Ebenso, nur ist der rechte Durchmesser festgestellt, der linke wird bewegt,

Kreuzungswinkel ............ 0°,467
wahrscheinlicher Fehler ....... 0°,14

5. Versuchsreihe: Links ein horizontal gerichteter Radius; der Radius der rechten Scheibe wird so gestellt, dafs er mit jenem eine gerade Linie zu bilden scheint. Im Mittel aus 30 Versuchen

Kreuzungswinkel ............ 0°,46
wahrscheinlicher Fehler ...... 0°,125

---

[1] A. W. Volkmann, *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.* Leipzig 1864, Heft 2, S. [illegible] und 222.

6. Versuchsreihe: Ebenso, nur liegt der rechte Radius fest, der linke 'd gestellt.

| | |
|---|---|
| Kreuzungswinkel ............ | 0°,463 |
| wahrscheinlicher Fehler ....... | 0°,096 |

Man sieht, dafs diese Versuche alle nahe übereinstimmende Resultate geben, nlich

| | |
|---|---|
| 1. | 0°,443 |
| 2. | 0°,553 |
| 3. | 0°,397 |
| 4. | 0°,467 |
| 5. | 0°,460 |
| 6. | 0°,463 |
| Mittel: | 0°,464. |

Der Sinn dieser Abweichung ist ein solcher, dafs die äufsere Seite jedes tzhauthorizontes etwas tiefer liegt, als die innere.

7. Versuchsreihe: Endlich hat Volkmann noch Versuche angestellt, bei ıen er nur eine Scheibe mit dem linken Auge betrachtete und den darauf :eichneten Durchmesser horizontal zu stellen suchte; dabei stellte er im Mittel ı 30 Versuchen das linke Ende um 0°,203 zu tief.

8. Versuchsreihe: Ebenso, nur wurde das rechte Auge gebraucht. Das hte Ende des Durchmessers wurde um 0°,233 zu tief gestellt.

Die Summe beider Abweichungen 0°,203 + 0°,233 = 0°,436 entspricht hinchend genau dem oben gefundenen Kreuzungswinkel der Netzhauthorizonte.

Nach den Methoden der ersten vier Versuchsreihen fand Volkmann bei igen andern Beobachtern den Kreuzungswinkel der Netzhauthorizonte, wie folgt

| | |
|---|---|
| Professor H. Welcker ....... | 0°,72 |
| Stud. med. Käherl ......... | 0°,26 |
| Dr. Schweigger-Seidel ..... | 0°,43. |

Bei meinen eigenen Augen habe ich Versuche nach der Methode von Volk.nn's 5. und 6. Reihe angestellt und finde keine merkliche Abweichung der tzhauthorizonte, wenn ich vorher nur ferne Gegenstände angeblickt, oder durch gere Fortsetzung der Versuche meine Gesichtslinien parallel erhalten habe. mme ich aber vom Lesen oder Schreiben, wobei meine Augen also convergirten, finde ich eine kleine Abweichung in demselben Sinne, wie Volkmann, und von chselnder Gröfse, die bei längerer Fortsetzung der Versuche wieder verschwindet.

Herr Dr. Dastich, dessen linkes Auge normalsichtig, das rechte kurzsichtig fand eine Abweichung von 0°.31.

Was nun die vermuthliche Entstehungsweise dieses Identitätsverhält- 703 ses der horizontalen Meridiane betrifft, so müssen wir beachten, dafs wir i Fixation eines bestimmten Objectpunktes in denjenigen beiden Meriınen der Sehfelder und der Netzhäute, welche mit der Visirebene zusammenlen, immer eine Reihe von Bildern derselben Objectpunkte finden rden, wie auch übrigens die Schnittlinie der Visirebene mit der Oberfläche s Objects verlaufen möge. Für alle anderen Meridiane dagegen wird das

Verhältnifs, je nach der Lage und Form des Objects sehr wechseln. Geht zum Beispiel durch den Fixationspunkt eine gerade senkrechte Linie, so werden deren Bilder in die senkrechten Meridiane der Sehfelder und auf die entsprechenden Netzhautpunkte fallen. Ist die gesehene Linie oben gegen den Beobachter hingeneigt, so fallen ihre Bilder in zwei nach oben convergirende Meridiane der Sehfelder; entfernt sie sich dagegen nach oben hin von dem Beobachter, so wird sie in zwei nach oben divergirenden Meridianen erscheinen. So ist es also mit Ausnahme der in der Visirebene gelegenen Meridiane für jeden andern Meridian je eines Auges von der Form und Lage des gesehenen Objects abhängig, welcher Meridian des andern Auges die Bilder der auf jenem abgebildeten Objectpunkte empfängt. Nur die in der Visirebene liegenden Meridiane enthalten entsprechende Bilder unabhängig von der Form und Lage der Objecte.

Nun können allerdings bei verschiedenen Richtungen der Augen verschiedene Netzhautmeridiane in die Visirebene fallen. Wir dürfen aber wohl voraussetzen, dafs bei natürlicher Lebensweise des Menschen, wenn nicht zu anhaltend einseitige Beschäftigungen mit bestimmter Haltung des Körpers und der Augen eingeschlagen werden, die Augen sich überwiegend oft in oder nahe der Primärlage befinden, und dafs also diejenigen Netzhautmeridiane, die in der Primärstellung der Augen mit der Visirebene zusammenfallen — das sind aber die Netzhauthorizonte —, unter allen andern am häufigsten entsprechende Bilder empfangen und daher für sie die Gewöhnung gleicher Raumprojection sich ausbildet.

Ueberwiegende Beschäftigung mit nahen Gegenständen, die mit nach unten gerichteten convergirenden Blicken betrachtet werden, würde dagegen das Auftreten einer solchen Abweichung, wie sie Volkmann an sich und anderen beobachtet hat, bedingen können, denn bei einer solchen Richtung des Blickes rücken wirklich seine Netzhauthorizonte in die Visirebene.

3. Die zu den Netzhauthorizonten scheinbar verticalen Meridiane decken sich. Es ist schon oben auf Seite 687 hervorgehoben worden, dafs diejenigen Meridiane der Sehfelder, welche für das Augenmaß einen scheinbar richtigen rechten Winkel mit den Netzhauthorizonten bilden, in Wahrheit mit ihrem oberen Ende etwas nach aufsen geneigt sind. Liegen also die Netzhauthorizonte in der Visirebene, so divergiren die scheinbar verticalen Meridiane etwas nach oben und convergiren nach unten. Dieselben scheinbar verticalen Meridiane, welche also in den beiden Sehfeldern scheinbar dieselbe Lage gegen den Fixationspunkt und Netzhauthorizont haben, zeigen sich als correspondirend in dem binocularen Gesichtsfelde.

Den Kreuzungswinkel der correspondirenden scheinbaren Verticallinien kann man nach denselben Methoden finden, wie den der Netzhauthorizonte,
704 ausgenommen diejenige, wobei die Linien zum Decken gebracht werden. Dabei verschmelzen nämlich zwei einander ähnlich gefärbte Linien zu leicht zu einem stereoskopischen Gesammtbilde, selbst wenn sie noch ziemlich disparate Richtungen haben. Man kann dies aber vermeiden, wenn man

den beiden Linien ganz verschiedene Färbung giebt, zum Beispiel einen weifsen Faden auf schwarzem Grund mit einem schwarzen auf weifsem combinirt. Die sichersten und übereinstimmendsten Urtheile bei solchen Vergleichungen habe ich schliefslich bei folgender Methode gewonnen.

An einer senkrechten hölzernen Tafel wird ein Blatt schwarzen Papiers ausgespannt und auf diesem neben einander befestigt erstens ein rother 3 Millimeter breiter und von zwei parallelen geraden Rändern begrenzter Papierstreifen, und zweitens ein blauer Faden. Beide erhalten nahehin senkrechte Richtung, nach oben ein wenig divergirend, und solche Entfernung von einander, dafs ihr Abstand in der Höhe der Augen des Beobachters dem Abstande dieser Augen gleich ist. Der Papierstreifen wird mit beiden Enden festgesteckt, der Faden mit dem oberen Ende; sein unteres ist durch ein kleines Gewicht gespannt. Das untere Ende des Fadens schiebt man so viel, als nöthig, mit einer Nadel zur Seite, die man schliefslich fest sticht, wenn der Faden die richtige Lage hat. Man blickt nun nach dem Faden und Streifen mit parallelen Gesichtslinien, so dafs der blaue Faden auf der Mitte des rothen Streifens erscheint, und verschiebt den Faden so lange, bis er in seiner ganzen Länge genau auf der Mitte des Streifens zu liegen scheint. Dann steckt man die Nadel fest. Indem man die Entfernung des Fadens vom Streifen am oberen und unteren Ende abmifst, und auch den verticalen Abstand der gemessenen Punkte, kann man den Winkel, den ihre Richtungen machen, leicht bestimmen.

Der obige Satz ergiebt sich am directesten, wenn man in der beschriebenen Weise die Abweichung der horizontalen und verticalen Decklinien bestimmt und aufserdem die Winkel, welche die zu einer Horizontallinie scheinbar normal gerichteten Linien mit jener machen. Solche Bestimmungen hat Herr Dr. Dastich in meinem Heidelberger Laboratorium ausgeführt und folgende Werthe gefunden:

| | |
|---|---|
| Winkel zwischen den scheinbar verticalen Decklinien: | 2° 40′ |
| Winkel zwischen den Netzhauthorizonten: | 0° 18′ |
| Differenz | 2° 22′. |

Derselbe fand die Abweichung vom rechten Winkel

| | |
|---|---|
| für sein rechtes Auge | 1° 12′ |
| für sein linkes Auge | 1° 21′ |
| Summe: | 2° 33′. |

Die Differenz der ersten beiden Winkel, im Betrag von 2° 22′, ist der Winkel, den die scheinbar verticalen Meridiane mit einander bilden würden bei einer Stellung der Augen, wo die Netzhauthorizonte in die Visirebene fallen. Sie ist der Summe 2° 33′ so nahe gleich, als die Genauigkeit solcher Versuche erwarten läfst. Das heifst also, die scheinbar verticalen Decklinien unterscheiden sich nicht merklich von denjenigen Linien, die nach dem Augenmaafs normal zu den Netzhauthorizonten scheinen.

705 Dasselbe geht übrigens auch indirect aus VOLKMANN's Versuchen hervor. Derselbe hat nämlich aufser den schon erwähnten Versuchen, einen monocular gesehenen Durchmesser seiner Scheiben horizontal zu stellen (7. und 8. Versuchsreihe), auch Versuche gemacht, ihn vertical zu stellen, wobei er also die absolut verticale Richtung einzuhalten suchte, nicht die normale gegen eine horizontale sichtbare gerade Linie. Da indessen schon oben bemerkt ist, dafs die Netzhauthorizonte ihm absolut horizontal erschienen unter den Umständen des Versuchs, so folgt, dafs ihm die hier bestimmten scheinbar verticalen Richtungen auch normal zu den Netzhauthorizonten erscheinen mufsten.

9. Versuchsreihe: Die Scheibe wird mit dem linken Auge betrachtet und der Durchmesser scheinbar vertical gestellt. Im Mittel von 30 Versuchen beträgt die Abweichung 1°,307.

10. Versuchsreihe: Ebenso mit dem rechten Auge; Abweichung im Mittel 0°,82.

Die Winkel zwischen den scheinbar verticalen Decklinien hat er nach denselben Methoden bestimmt, wie für die horizontalen, und folgende Zahlen erhalten

| Methode der Versuchsreihe | Mittelwerth | Wahrscheinlicher Fehler. |
|---|---|---|
| der Versuchsreihe 1 | 2°,23 | 0°,16 |
| „ „ 2 | 2°,06 | 0°,07 |
| „ „ 5 | 2°,16 | 0°,22 |
| „ „ 6 | 2°,14 | 0°,21 |
| Gesammtmittel: | 2°,15 | |

Nun ist die Summe der Abweichungen der jedem einzelnen Auge normal erscheinenden Linien:

$$1^{0},307 + 0^{0},82 = 2^{0},127$$

der Abweichung der Decklinien von einander so nahehin gleich, dafs daraus folgt, die für das Augenmaafs in jedem Sehfelde vertical erscheinenden Linien seien auch Decklinien, und dies entspricht wieder unserem Satze.

Auf VOLKMANN's Veranlassung wiederholte SCHWEIGGER-SEIDEL die Versuche. Die Abweichung der scheinbar verticalen Linie von der wirklich Verticalen fand er für das linke Auge gleich 0°,663, für das rechte Auge gleich 0°,657. Die Summe beider Gröfsen ist 1°,32. Damit nahe übereinstimmend, fand sich der Winkel zwischen den beiden scheinbar verticalen Decklinien bei ihm gleich 1°,44.

VOLKMANN hat endlich auch Versuchsreihen noch in der Weise angestellt, dafs der Diameter der einen Scheibe horizontal lag und er den der andern im binocularen Gesammtbilde senkrecht zu jenem zu stellen suchte. Auch diese Versuche zeigen gute Uebereinstimmung mit den früheren und mit dem oben hingestellten Satze, dafs die scheinbar verticalen Meridiane Decklinien seien, und dieser Satz ist wieder ein Fall des oben hingestellten allgemeineren, dafs Linien, die in den monocularen Sehfeldern scheinbar gleiche Lage haben, Decklinien sind. Nachdem nämlich festgestellt ist, dafs die Netzhauthorizonte Decklinien sind, müssen die zu ihnen und dem Fixationspunkt scheinbar gleiche Lage habenden scheinbaren Verticalen auch Decklinien sein.

Der Winkel der scheinbaren Verticallinien hat bei normalsichtigen Augen, es scheint, immer ziemlich dieselbe Gröfse von etwa 2½ Grad; bei kurz-

sichtigen Augen habe ich ihn meist viel kleiner gefunden. Auch E. Hering, der kurzsichtig ist, hat ihn für seine Augen beinahe gleich Null gefunden.

In den theoretischen Untersuchungen über das monoculare Gesichtsfeld fanden wir, dafs die dort betrachteten Vorgänge bei der Ausbildung des 706
Augenmaafses für diesen Winkel keine bestimmte Gröfse ergaben, ihn vielmehr unbestimmt liefsen. Gründe, die seine Gröfse zu bestimmen scheinen, werden wir weiter unten in der Lehre vom Horopter finden.

4. **In den scheinbar verticalen Decklinien sind Punkte, welche gleich weit von den Netzhauthorizonten abliegen, Deckpunkte.** Auch hierüber liegen genaue Versuche von Volkmann vor. Jedes Auge hatte ein rechtwinkeliges Kreuz vor sich, gebildet aus der Horizontalen $aa'$, *Fig. 245*, und den Senkrechten $s$ und $s'$, deren Abstand dem der Augen

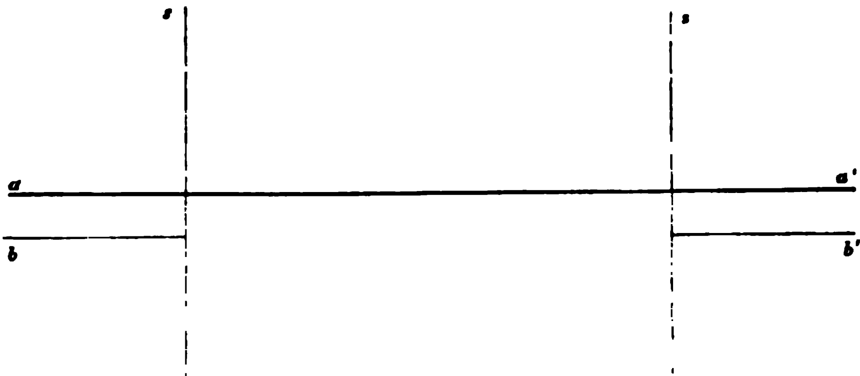



Fig. 245.

des Beobachters gleich zu machen ist. Unterhalb der Horizontallinie und nach aufsen von der Verticallinie jedes Kreuzes war eine zweite Horizontallinie $b$ und $b'$ gezogen, von denen die eine $b$ fest, die andere $b'$ beweglich war, so dafs sie sich selbst parallel verschoben werden konnte. Der Beobachter fixirte die Mittelpunkte beider Kreuze mit parallelen Gesichtslinien, so dafs sie sich scheinbar deckten, und verschob dann die bewegliche Horizontallinie $b'$ so lange, bis sie scheinbar die genaue Fortsetzung der festen Horizontallinie $b$ im anderen Sehfelde bildete.

Im Mittel aus je 30 Versuchen erhielt er den Abstand der beweglichen Horizontallinie

| | | |
|---|---|---|
| Bewegliche Horizontale rechts ...... | 5,51 | Millimeter |
| Bewegliche Horizontale links ....... | 5,47 | „ |
| Abstand der festen Horizontale ..... | 5,50 | „ |

Der Abstand der Linien von den Augen war 300 Millimeter, die Differenzen zwischen den beiden verglichenen Gröfsen liegen unter der Grenze der wahrnehmbaren Abstände.

Um eine feste Uebung in der Vergleichung verticaler Distanzen zwischen beiden Sehfeldern zu erlangen, sind die Verhältnisse des natürlichen Sehens besonders günstig. So oft nämlich der Fixationspunkt in der Medianebene des Körpers liegt, der Blick also geradeaus gerichtet ist, können oberhalb und unterhalb des Fixationspunktes liegende Objectpunkte zwar beiden Augen in etwas disparaten Meridianen erscheinen, aber ihr Winkelabstand vom Fixationspunkte wird immer in beiden Sehfeldern derselbe sein müssen,
707 auch wenn jene Punkte dem Auge beträchtlich näher oder ferner liegen, als der fixirte Punkt; und es wird defshalb, so oft wir geradeaus blicken, Gelegenheit gegeben sein, Erfahrungen zu machen, welche verticale Dimensionen des einen Sehfeldes denen des andern entsprechen. Dem entsprechend werden wir später finden, dafs vertical übereinander liegende Doppelbilder besonders leicht erkannt werden.

5. *In den Netzhauthorizonten sind solche Punkte, welche gleich weit vom Fixationspunkt abliegen, Deckpunkte.* Volkmann hat hierüber Versuchsreihen angestellt nach ähnlicher Weise wie die zuletzt erwähnten, nur dafs statt der festen und beweglichen Horizontallinie rechts von der Verticallinie jedes Kreuzes eine zweite Verticallinie angebracht war, die eine fest oberhalb der Horizontallinie des Kreuzes, die andere beweglich darunter. Wieder im Mittel von je dreifsig Versuchen fand sich der Abstand der beweglichen Verticallinie,

| | | |
|---|---|---|
| wenn sie rechts lag, ....... | 5,24 | Millimeter, |
| wenn sie links lag, ........ | 5,21 | „ |
| Abstand der festen Verticale | 5,20 | „ |

Die Unterschiede sind hier also wieder kleiner, als die kleinsten wahrnehmbaren Gröfsen. Volkmann machte also auch diese Bestimmung mit sehr grofser Genauigkeit.

Ich selbst finde diese Art des Einstellens sehr viel schwerer, als die von horizontalen Linien, weil bei mir eine scheinbare stereoskopische Vereinigung der Verticallinien des Kreuzes, welche fixirt werden sollen, eintritt, auch wenn meine Blicklinien etwas mehr convergiren oder divergiren, als zur genauen Vereinigung nöthig ist; und dabei schwanken dann die seitlichen Verticallinien hin und her, so dafs ich nach Belieben bald die eine, bald die andere der fixirten Verticallinien näher sehen kann. Sicherer gelingt mir der Versuch, wenn auch von den fixirten Verticallinien die eine nur oberhalb, die andere nur unterhalb der Horizontalen gezogen ist.

Die Vergleichung horizontaler Distanzen in beiden Sehfeldern kann im Allgemeinen nur dann ein constantes Resultat geben, wenn sie an unendlich entfernten Objecten, des irdischen Horizontes zum Beispiel, angestellt wird. Die Entfernung zweier Punkte des Horizontes in den Bildern beider Sehfelder mufs allerdings immer die gleiche sein, und durch Vergleichung solcher Bilder werden wir lernen können, welche horizontale Strecken in beiden Sehfeldern (beziehlich auf beiden Netzhäuten) gleich grofs sind. An

allen näheren Gegenständen werden nur ausnahmsweise zwei horizontal neben einander gelegene Objectpunkte in beiden Sehfeldern unter gleichem Distanzwinkel erscheinen, wegen der Verschiedenheit ihrer perspectivischen Projectionen. Dem entsprechend finden wir auch, dafs horizontal neben einander liegende Doppelbilder viel leichter verschmelzen und schwerer als doppelt erkannt werden, als vertical über einander liegende. Dennoch reicht, wie VOLKMANN's Versuche zeigen, unter günstigen Bedingungen und bei sehr häufiger Wiederholung der Versuche die vorhandene Uebung in der Vergleichung beider Sehfelder aus, um die Gleichheit oder Ungleichheit zweier solcher Distanzen ziemlich genau und richtig zu erkennen. Es kommt freilich noch hinzu, dafs wegen der symmetrischen Anordnung beider Augen 708
keine unsymmetrische Vertheilung der Fehler zwischen beiden Augen eintreten kann. Wenn $a$ und $a_1$ zwei gleiche Strecken in den äufseren Hälften beider Sehfelder sind, $b$ und $b_1$ gleich grofse auf den inneren Hälften, so ist wegen der Symmetrie der Augen kein Grund vorhanden $a$ für gröfser oder kleiner als $a_1$, und $b$ für gröfser oder kleiner als $b_1$ zu halten. Da wir ferner durch das Augenmaafs richtig erkennen, dafs $a = b$, und dafs $a_1 = b_1$, so werden wir auch richtig erkennen, dafs die Decklinien $a = b_1$ und $b = a_1$ sind.

Nachdem wir festgestellt haben, welche Richtungen in beiden Sehfeldern, beziehlich auf beiden Netzhäuten, als scheinbar horizontale Decklinien sich entsprechen, welche als verticale Decklinien, welche Längen auf den ersteren und welche auf den letzteren gleich grofs erscheinen, so sind die nöthigen Stücke gegeben, um die scheinbare Lage aller Punkte des einen monocularen Gesichtsfeldes mit denen des andern vergleichen zu können. Von einer genauen Vergleichung der Lage der Doppelbilder kann, wie schon oben hervorgehoben wurde, nur in den mittleren Theilen der Sehfelder die Rede sein, da an ihren peripherischen Theilen sowohl die Erkennung der Deckstellen, wie auch die Abmessung der Distanzen durch das Augenmaafs zu unsicher ist. Wir werden also den bei unserer vorliegenden Untersuchung in Betracht kommenden mittleren Theil jedes Sehfeldes als eine Ebene ansehen können.

Es sei in *Fig.* 246 (S. 856) $o$ der Fixationspunkt des rechten Auges in der Fläche des Papiers, $o'$ der des linken Auges; $ak$ sei die scheinbare horizontale, $bl$ die scheinbar verticale Linie für jenes, $a'k'$ und $l'b'$ seien dieselben beiden im andern Sehfelde. Es seien ferner $co = c'o'$ gleiche Längen auf den beiden scheinbar verticalen Linien abgeschnitten, dann erscheinen auch beide Linien gleich lang und $c$ und $c'$ sind Deckpunkte. Ebenso seien $do = d'o'$ gleiche Längen auf den scheinbaren Horizontalen. Durch $c$ denke man eine Parallele $ef$ mit $ak$, durch $c'$ ebenso eine Parallele $e'f'$ mit $a'k'$ gelegt. Jeder Punkt von $f$ mufs nicht blos wirklich, sondern auch scheinbar gleich grofsen Abstand von $ak$ haben wie $c$, da die Abstände von parallelen Linien durch das Augenmaafs richtig und genau verglichen werden können. Ebenso mufs jeder Punkt von $e'f'$ scheinbar den gleichen Abstand von $a'k'$ 709

haben wie *c'*, und da die scheinbaren Abstände des Punktes *c* von der Linie *a k* und des Punktes *c'* von der Linie *a' k'* als gleich vorausgesetzt sind, so müssen die Linien *e f* und *e' f'* in beiden Sehfeldern erscheinen als Horizontallinien, die gleichen Abstand von den sich deckenden Netzhauthorizonten haben, und müssen also selbst Decklinien sein, wenn der oben vorangestellte Satz richtig ist, dafs alle Punkte, welche in beiden Sehfeldern scheinbar gleiche Lage haben, Deckpunkte seien.

Ebenso folgt, dafs die Linien *g h* und *g' h'* Decklinien sind, und schliefslich, dafs die Punkte *m* und *m'*, in denen sich *e f* mit *g h* und *e' f'* mit *g' h'* schneidet, Deckpunkte sind.

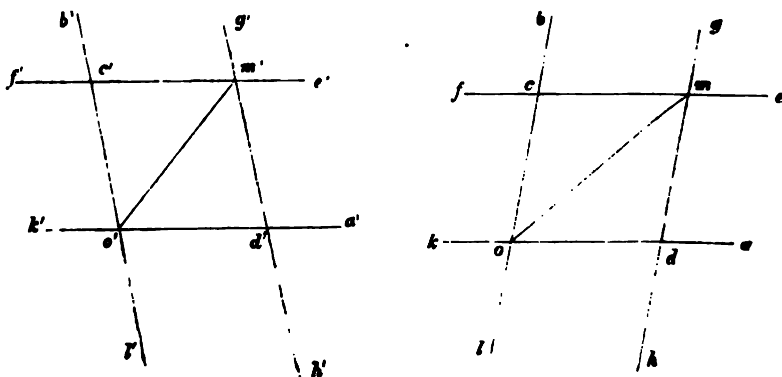



Fig. 246.

Diese Schlüsse zusammengefafst kann man so aussprechen, dafs unter Voraussetzung der Gültigkeit des mehrerwähnten Grundsatzes diejenigen Punkte beider Sehfelder Deckpunkte sind, welche gleiche und gleich gerichtete Abstände von den scheinbar horizontalen und scheinbar verticalen Decklinien haben.

Um diesen Satz an der Erfahrung zu prüfen, kann man die stereoskopischen Figuren *D*, *Taf. IV*, gebrauchen. Um eine zu leichte Verschmelzung correspondirender Linien zu verhindern, ist die rechte Seite mit weifsen Linien auf schwarzem Grunde, die linke mit schwarzen Linien auf weifsem Grunde gezeichnet. Die Figuren sollen mit parallelen Blicklinien angesehen werden, so dafs beide sich im gemeinsamen Gesichtsfelde scheinbar decken. Wer dies nicht erreichen kann, brauche das Stereoskop. Die rechte Seite bildet für mein rechtes Auge, die linke für mein linkes ein scheinbar genau rechtwinkeliges Gitter; ich hoffe, dafs dies für die meisten normalsichtigen Leser der Fall sein wird. Andernfalls mufs jeder Beobachter sich ähnliche Figuren für seine Augen passend zeichnen, so dafs sowohl die horizontalen wie auch die verticalen Linien der einen Figur mit den entsprechenden der andern denjenigen Winkel bilden, welcher nöthig ist, damit sie bei paralleler Blickrichtung zur Deckung gebracht werden können. Der Abstand der Mittel-

punkte beider Figuren ist gleich dem Abstande der Augenmittelpunkte des Beobachters zu machen; die Abstände der horizontalen Linien von einander sind in beiden Figuren gleich zu machen, ebenso die Abstände der Verticalen von einander.

Fixire ich nun den Mittelpunkt des rechten Gitters mit dem rechten, den des linken Gitters mit dem linken Auge, so fallen in dem gemeinschaftlichen Gesichtsfelde alle Linien des einen auf die entsprechenden des andern, was man leicht erkennen kann, da übrigens die schwarzen Linien der linken Seite nicht leicht mit den weifsen der rechten Seite verschmelzen.[1]

Der Versuch, der mit der *Fig. D, Taf. IV,* ausgeführt ist, giebt uns nun auch Aufschlufs darüber, wie correspondirende Punkte in beiden Augen zu finden sind. Man richte die Gesichtslinien parallel der Medianebene auf die beiden Mittelpunkte der genannten Figuren, deren Ebene selbst senkrecht zur Gesichtslinie stehen soll, und denke sich durch die Horizontallinien der 710
Figuren und durch die Knotenpunkte der Augen Ebenen gelegt. Diejenigen Ebenen, welche durch die mittlere Horizontallinie gehen, auf der der Fixationspunkt liegt, fallen unter diesen Umständen mit den Netzhauthorizonten beider Augen zusammen. Die anderen Ebenen schneiden sich unter einander und den Netzhauthorizont in einer zur Gesichtslinie normalen Horizontallinie, die wir die Aequatorialaxe des Netzhauthorizontes nennen wollen. Den Winkel zwischen einer der beschriebenen Ebenen und dem Netzhauthorizonte nennen wir den Höhenwinkel der betreffenden Ebene. Für alle Punkte einer solchen Ebene ist die scheinbare Höhe über der Visirebene gleich, wenn wir sie auf ein unendlich entferntes Gesichtsfeld projicirt denken; dem entsprechend nennen wir sie eine Ebene gleichen Höhenwinkels.

Ebenso denken wir uns Ebenen construirt durch jede der verticalen Linien der Figuren und den Knotenpunkt des betreffenden Auges. Die mittlere derselben, welche den Fixationspunkt enthält, ist die Ebene des scheinbar verticalen Meridians und wird von sämmtlichen anderen Ebenen dieser Art in einer zur Gesichtslinie normalen Linie geschnitten, welche wir die Aequatorialaxe des scheinbar verticalen Meridians nennen. Den Winkel zwischen einer solchen Ebene und der Ebene des scheinbar verticalen Meridians nennen wir Breitenwinkel, und zählen diesen in beiden Augen als positiv nach rechts hin, negativ nach links. Die Ebenen, welche den Breitenwinkel einschliefsen, selbst nennen wir Ebenen gleichen Breitenwinkels.

Nach Feststellung dieser Begriffe läfst sich die Lage identischer Punkte in beiden Sehfeldern leicht finden. Man denke sich durch den betreffenden Punkt des Gesichsfeldes und die Aequatorialaxen sowohl des Netzhauthorizonts

[1] Ein Beobachter, welcher durch die gröfsere Anzahl der Linien verwirrt zu werden fürchten sollte, wie Herr E. HERING, kann die entsprechenden Beobachtungen auch leicht an einer Reihe von einfacheren Liniensystemen ausführen, wie ich es übrigens selbst auch gethan habe, ehe ich mir die beschriebenen Gitter construirt hatte. Ich hatte nicht geglaubt dies in meinem Aufsatze über den Horopter erwähnen zu müssen, will es hier aber ausdrücklich hervorheben, da es Veranlassung zu kritischen Einwürfen gegeben hat.

als auch des scheinbar verticalen Meridians Ebenen gelegt, durch welche der Höhenwinkel und der Breitenwinkel für den betreffenden Punkt des Gesichtsfeldes gegeben wird. Identisch sind solche Punkte beider Gesichtsfelder, welche gleiche Höhenwinkel und gleiche Breitenwinkel haben.

Diese Definition identischer Punkte stützt sich auf einen direct auszuführenden Versuch. Denkt man sich die beiden Figuren, welche die Eintheilung des Gesichtsfeldes darstellen, zu unendlichen Ebenen erweitert, so erhält man die Abtheilungen der identischen Punkte bis zu 90° auf jeder Seite der Gesichtslinie. Dies genügt auch vollkommen für diesen Zweck, denn wenn auch das Gesichtsfeld jedes einzelnen Auges nach aufsen etwas weiter als 90° reicht, so ist das binoculare Gesichtsfeld doch viel kleiner, weil der Nasenrücken dem andern Auge diese äufsersten Theile des Feldes verdeckt. Uebrigens ist eine genaue Bestimmung der identischen Punkte durch den Versuch auch nur möglich für diejenigen Stellen beider Sehfelder, die dem Fixationspunkt ziemlich nahe liegen, denn in gröfserer Entfernung wird die Entscheidung darüber, welche indirect gesehene Gegenstände beider Gesichtsfelder sich decken, welche nicht, so aufserordentlich unbestimmt, dafs nur ganz erhebliche Differenzen der Doppelbilder überhaupt wahrgenommen werden können.

Es ist noch zu bemerken, dafs nicht auf allen correspondirenden Meridianen der Sehfelder die Deckpunkte gleichweit vom Blickpunkte entfernt sind, wie
711 dies von den scheinbar horizontalen und scheinbar verticalen Decklinien gilt. Wenn man in der *Fig. 246* von den Fixationspunkten $o$ und $o'$ die Diagonalen $om$ und $o'm'$ nach den Deckpunkten $m$ und $m'$ zieht, so ist $om$ länger als $o'm'$ und doch sind beides correspondirende Strecken auf correspondirenden Meridianen. Der genannte Unterschied ist klein.

Bezeichnet man die Strecken

$$md = co = m'd' = c'o' \text{ mit } a$$

und

$$mc = od = m'c' = o'd' \text{ mit b}$$

und die Abweichung der beiden Winkel $cod$ und $c'o'k'$ von 90° mit $\varepsilon$, so sind die correspondirenden Längen

$$mo = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \sin \varepsilon}$$

$$m'o' = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \sin \varepsilon}.$$

Relativ am gröfsten wird dieser Unterschied, wenn $a = b$; dann werden nämlich diese Längen

$$mo = 2a \cos\left(45^0 - \frac{\varepsilon}{2}\right) \text{ und } m'o' = 2a \cos\left(45^0 + \frac{\varepsilon}{2}\right).$$

Wenn $\delta = 1^0\, 13'$, wie für meine Augen, so ist das Verhältnifs dieser beiden Gröfsen wie 1 : 1,0215, oder wie 47 : 48. Um diesen Unterschied zu

beobachten, habe ich das Liniensystem der *Fig. 247* angewendet. Das rechte Auge fixirt *a'*, das linke *a*, die Linien *ac* und *a'c'* fallen dann im binocularen Bilde scheinbar in eine zusammen, ebenso *ab* und *a'b'*. Die Linie *fg* ist auf einen andern Papierstreifen gezogen, der um den entfernten Punkt *g* drehbar ist. Man sucht nun, während man *a* und *a'* streng fixirt, *gf* so einzustellen, dafs sie als Fortsetzung der Linie *ed* erscheint. Dann fand sich, dafs ich *a'f* etwa gleich 19,5 Millimeter machte, während *ad* 20 Millimeter betrug. Man mufs natürlich gleichzeitig genau darauf achten, dafs *ac* und *a'c'* als eine ununterbrochene Linie erscheinen. Der Unterschied, um den es sich hier 712
handelt, liegt ziemlich an der Grenze des Wahrnehmbaren.

Ich finde, dafs die zuletzt erwähnten Unterschiede sich auch merklich machen, wenn ich zwei Systeme concentrischer Kreise, das linke mit schwarzen Linien auf weifsem Grund gezeichnet, das rechte mit weifsen Linien auf

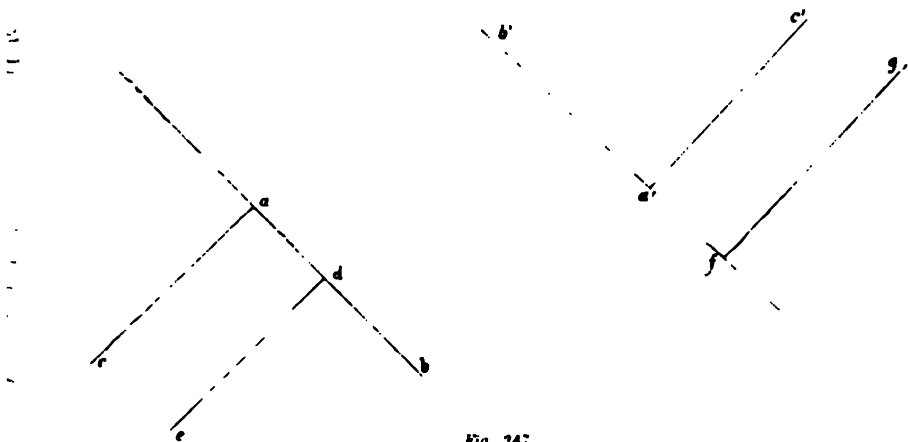



Fig. 247.

schwarzem Grunde ausgeführt, wie *O. Taf. VI*, bei fester Fixation ihrer Mittelpunkte mit parallelen Gesichtslinien zum Decken bringe. Dann decken sich die weifsen und schwarzen Linien wirklich in dem verticalen und horizontalen Meridian; aber in den schräg liegenden Meridianen fallen sie neben einander, und zwar nach oben rechts und unten links die schwarzen nach aufsen, dagegen oben links und unten rechts die weifsen. Der nach oben rechts gerichtete Radius des rechten Feldes müfste nämlich länger gemacht werden, als der nach oben rechts gerichtete Radius des linken Feldes, um ihm gleich zu erscheinen. Folglich erscheint jener kürzer, dieser länger.

Es ergiebt sich aus der oben hingestellten Betrachtungsweise auch ein Gesetz für die Gröfse derjenigen Winkel, welche verschieden gerichtete Decklinien mit einander machen. Die Berechnung, welche unten nachzusehen ist, ergiebt für die Winkeldifferenz $\Delta$ zweier correspondirender Meridiane bei parallelen Blicklinien den Ausdruck

$$\Delta = \gamma + 2\varepsilon \sin^2\beta.$$

worin $\gamma$ der Winkel zwischen den Netzhauthorizonten in der betreffenden Augenstellung, $2\varepsilon$ der Winkel zwischen den scheinbar verticalen Meridianen, und $\beta$ der Mittelwerth des Winkels ist, den die beiden zu vergleichenden Decklinien mit ihren Netzhauthorizonten bilden.

Eine Reihe von Messungen, welche VOLKMANN über die Winkel zwischen correspondirenden Meridianen angestellt hat,[1] machen eine Vergleichung dieser Formel mit der Erfahrung möglich. In der folgenden Tabelle sind die Constanten $\gamma$ und $\varepsilon$ der obigen Formel nach der Methode der kleinsten Quadrate aus den gesammten Beobachtungen bestimmt worden.

Kreuzungswinkel correspondirender Meridiane für VOLKMANN's Augen.

| Neigung gegen die Verticale $90^\circ - \beta$ | Kreuzungswinkel beobachteter Mittelwerth | wahrscheinlicher Fehler | berechnet | Differenz zwischen Beobachtung und Rechnung |
|---|---|---|---|---|
| 0° | 2°,15 | 0°,106 | 2°,166 | — 0,016 |
| 15° | 1°,99 | 0°,064 | 2°,062 | — 0,072 |
| 30° | 1°,78 | 0°,195 | 1°,781 | — 0,001 |
| 45° | 1°,51 | 0°,075 | 1°,397 | + 0,113 |
| 60° | 1°,15[2] | 0°,114 | 1°,013 | + 0,137 |
| 75° | 0°,81 | 0°,084 | 0°,732 | + 0,078 |
| 90° | 0°,46[3] | 0°,062 | 0°,628 | — 0,168 |

$\gamma = 0^\circ,628$ $\qquad 2\varepsilon = 1^\circ,5375$

Die wahrscheinlichen Fehler des Beobachtungsmittels sind aus den von VOLKMANN für die einzelnen Reihen angegebenen Werthen berechnet. Man sieht, daſs die
713 Abweichung zwischen Rechnung und Beobachtung im Allgemeinen nicht gröſser ist, als die wahrscheinlichen Fehler, welche bei solchen Beobachtungsreihen vorkommen, und wir dürfen die Uebereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtungen wohl für befriedigend ansehen.

Nachdem wir die Lage der Deckpunkte in den beiden Sehfeldern bestimmt haben, können wir dazu übergehn, die Lage derjenigen Punkte des äuſseren Raumes zu bestimmen, welche sich auf correspondirenden Stellen beider Netzhäute abbilden und deſshalb einfach gesehen werden. Man nennt den Inbegriff dieser Punkte den **Horopter**. Derselbe ist im Allgemeinen eine Curve doppelter Krümmung, welche als die Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades (Hyperboloide mit einer Mantelfläche, Kegel oder Cylinder) angesehen werden kann. Die Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades ist im Allgemeinen vom vierten Grade, das heiſst, kann von einer Ebene in je vier Punkten geschnitten werden. In dem hier vorliegenden Falle haben aber die beiden schneidenden Flächen eine gerade Linie gemein, welche nicht Horopter ist, und der Rest der Schnittlinie ist eine **Curve dritten**

[1] Versuch 100 bis 112 im zweiten Hefte seiner *Physiologischen Untersuchungen im Gebiete der Optik* S. 202—213.
[2] Bei VOLKMANN, S. 213, ein Rechnungsfehler.
[3] Mittel aus den beiden Versuchsreihen 106 und 107.

Grades, das heifst eine solche, welche von einer beliebigen Ebene nur in drei Punkten geschnitten werden kann. Diese Curve hat die bemerkenswerthe Eigenschaft, dafs wenn man durch irgend einen festen Punkt derselben einerseits und durch alle andern Punkte der Curve andererseits gerade Linien legt, diese Linien einen Kegel zweiten Grades bilden. Wählt man als Spitze des Kegels einen unendlich entfernten Punkt der Curve (dieselbe läuft nämlich mit mindestens zwei Aesten in das Unendliche hinaus), so wird der Kegel ein Cylinder, dessen Basis eine Curve zweiten Grades ist. Um eine Anschauung von der Gestalt einer solchen Curve dritten Grades zu geben, können wir uns dieselbe auf eine Cylinderfläche gezeichnet denken und die Cylinderfläche in die Ebene abgerollt.

Die ausgezogene Curve *eabcf* der *Fig. 248* würde dann die Form der Curve darstellen. Man denke sich das Papier zu einem Cylinder mit kreis- 714

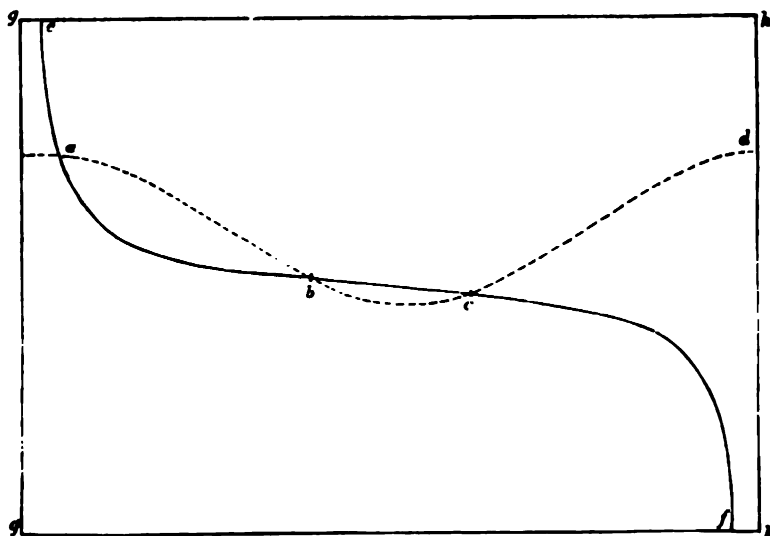


Fig 248

förmiger Basis zusammengerollt, so dafs die Linien *gg* und *hh* aufeinander fallen, so würde die gezeichnete Curve die Form einer Curve dritten Grades erhalten. Die punktirte Curve bezeichnet die Schnittlinie einer Ebene (zum Beispiel der Visirebene) mit dem Cylinder. Von dieser Ebene wird die Curve dritten Grades in drei Punkten *a*, *b*, *c* geschnitten. An zwei Stellen *e* und *f* läuft die Curve in das Unendliche aus, indem sie sich asymptotisch der geraden Linie *gg* oder der damit identischen *hh* nähert.

Betrachten wir die Curve dritten Grades als Horoptercurve, so mufs dieselbe durch die Mittelpunkte der Visirlinien beider Augen gehen. Es seien *b* und *c* die Orte der beiden Augen, *a* der Fixationspunkt. Dann fällt das Stück der Curve, welches zwischen ihnen liegt, nämlich *bc* zwischen beide

Augen in das Innere des Kopfes und kann nicht als Theil des Horopters (wenigstens nicht nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche, dem die oben gegebene Definition entspricht) angesehen werden, weil Punkte dieses Theils, wenn sie Strahlen aussenden und diese wirklich in beide Augen fallen könnten, sich auf den beiden äuſseren, also nicht correspondirenden Netzhauthälften abbilden würden; wie denn überhaupt die ganze Bestimmung des Horopters für die den Augen sehr nahe gelegenen Raumpunkte, von denen sie nur breite Zerstreuungsbilder bilden können, alle praktische Bedeutung verliert. Der Horopter, als solcher, besteht dann also aus zwei vollkommen getrennten Zweigen, *eb* und *fc*, aus denjenigen beiden Stücken der Curve dritten Grades, welche zwischen den Augen und Unendlich liegen. Da es für die mathematische Behandlung bequemer ist, die Curve dritten Grades in ihrem ganzen Zusammenhang zu betrachten, wollen wir sie die Horoptercurve nennen und den Namen des Horopters oder Punkthoropters für diejenigen Stücke derselben bewahren, welche einfach gesehen werden. In der Horoptercurve schneiden sich also correspondirende Visirlinien, aber bald beide mit ihren vorderen Abschnitten, bald die eine nur mit der hinteren Verlängerung; wo das letztere geschieht, ist sie nicht Horopter.

Unter gewissen Bedingungen kann die Horoptercurve sich übrigens ihrer geraden Asymptotenlinie *gg* und der zu einer ebenen Curve zweiten Grades zusammengelegten Linie *ad* so weit nähern, daſs sie mit ihnen zusammenfällt. Dann besteht die Horoptercurve also aus einer geraden Linie und einer ebenen Curve zweiten Grades, die sich in einem Punkte schneiden. Die beiden getrennten Zweige der Horoptercurve sind dann in diesem Schnittpunkte zusammengestoſsen. Es geschieht dies, so oft die beiden Netzhauthorizonte gleiche, aber nach entgegengesetzten Seiten gekehrte Winkel mit der Visirebene bilden, während der Fixationspunkt in endlicher Entfernung liegt, und diese Bedingung ist bei Augen, deren Bewegungen dem Listing'schen Gesetze folgen, wiederum erfüllt, wenn der Fixationspunkt entweder in der Medianebene des Kopfes, oder in der Primärlage der Visirebene liegt. Im ersten Falle liegt der Fixationspunkt auf der geraden Horopterlinie, im zweiten auf dem Kegelschnitt, der unter dieser Bedingung ein Kreis wird, J. Müller's Horopterkreis. Und endlich wenn der Fixationspunkt sowohl in der Medianebene des Kopfes, als auch in der Primärlage der Visirebene
715 liegt, so schneiden sich in ihm die gerade Horopterlinie und der Kreis. Genauere Contructionsmethoden für die Lage der Horopterlinien werden unten mit der mathematischen Theorie des Horopters gegeben werden.

In einem einzigen Falle ist der Horopter eine Fläche, und zwar eine Ebene, wenn nämlich der Fixationspunkt in der Medianebene in unendlicher Entfernung liegt und die Netzhauthorizonte, wie es bei normalsichtigen Augen mindestens sehr angenähert zu sein pflegt, dabei in der Visirebene liegen. Diese Horopterebene ist dann der Visirebene parallel; ihre Entfernung von dieser hängt ab von der Gröſse der Divergenz der scheinbar verticalen Meridiane beider Sehfelder; sie geht nämlich durch die Schnittlinie der

genannten beiden Meridianebenen und pflegt für normalsichtige Augen, die geradeaus gegen den Horizont gerichtet sind, mit der Fufsbodenebene des stehenden Beobachters nahehin zusammenzufallen, während sie bei kurzsichtigen meist in gröfserer Entfernung liegt.

Die Entfernung der Mittelpunkte meiner Augen von einander ist 68 Millimeter, ihre Höhe über dem Boden 1660. Legt man durch ihre Mittelpunkte und die Medianlinie des Fufsbodens Ebenen, so schneiden sich diese unter einem Winkel von 2° 20′ 48″; der Winkel zwischen meinen scheinbar verticalen Meridianen beträgt 2° 22′. Bei Herrn Dr. Knapp, welcher normalsichtig ist, beträgt die Augendistanz 62,5, die Höhe der Augen über dem Boden 1627 Millimeter. Dies entspricht einem Winkel von 2° 14′ 20″. Die Beobachtung ergab im Mittel 2° 8′. Bei Herrn Professor Volkmann, der schwach kurzsichtige Augen von derselben Distanz und nahehin derselben Höhe über dem Boden hat, wie ich selbst, ist die Abweichung etwas gröfser, da der Winkel zwischen den scheinbar verticalen Meridianen nur 2° 9′ beträgt. Bei Herrn Dr. Dastich ist die Augendistanz 62,8, die Höhe über dem Boden 1640, der entsprechende Winkel würde 2° 11′ sein; der Convergenzwinkel der verticalen Meridiane war bei ihm gröfser 2° 33′ bis 2° 40′.

Ich halte es für nicht unwahrscheinlich, dafs in diesem Verhältnifs der Grund für die schiefe Lage der scheinbar verticalen Meridiane liegen mag. Wir sahen oben, dafs das Augenmaafs im monocularen Gesichtsfelde keinen sicheren Anhaltspunkt für ihre Feststellung giebt, weil Winkel, deren Schenkel nicht übereinstimmende Richtung haben, nicht durch Deckung mit denselben Netzhautstellen verglichen werden können. Wenn wir nun beide Augen gebrauchen und sie auf weit entfernte Gegenstände richten, welche allein constante Resultate für die Vergleichung der Ausmessungen beider Sehfelder geben, so haben wir oberhalb des Horizonts meist den Himmel, der bei Tage keine scharfgezeichneten Objecte darbietet, und unterhalb des Horizonts den Fufsboden, der nicht nur bestimmte Merkpunkte in Menge darzubieten pflegt, sondern dessen Beachtung im indirecten Sehen wesentlich nothwendig ist, wenn wir vorwärts gehen. Daraus kann sich dann bei normalsichtigen Augen die Uebung bilden, die Bilder derjenigen Netzhautpunkte gleich zu localisiren, auf welchen beim Gehen die gleichen Punkte des Bodens sich abzubilden pflegen. Kurzsichtige Augen, die den Fufsboden nicht deutlich sehen, werden diesem Einflusse entzogen sein und ihre Identitätsverhältnisse mehr an nahen Gegenständen ausbilden müssen.

Zu erwähnen ist noch, dafs wenn bei aufrechter Haltung des Körpers und Kopfes ein Punkt der Fufsbodenlinie betrachtet wird, der auch in der Medianebene des Kopfes liegt, zwar nicht die ganze Bodenebene Horopter 716
ist, aber doch die gerade Horopterlinie ganz in die Bodenfläche fällt.

Es scheinen übrigens auch Augen vorzukommen, bei denen die scheinbar verticalen Meridiane nicht ganz gerade sind, sondern in der Gegend des Fixationspunktes eine schwache Knickung haben, so dafs ihre oberen Hälften einen kleineren Winkel mit einander machen, als die unteren. Ein in optischen Beobachtungen sehr geübter Studirender beschrieb mir die

Erscheinungen in seinen Augen so. Da scheint dann der Einflufs des Fufsbodens nur für die unteren Theile der Sehfelder (obere Netzhauthälften) sich geltend gemacht zu haben, während für die anderen Theile nicht das Bedürfnifs gerade Linien als gerade zu sehen entscheidend war, sondern Beobachtungen an steiler stehenden Objectflächen ein selbständiges Identitätsverhältnifs ausbildeten.

Die bisherigen Angaben bezogen sich auf den Horopter, als Ort von Punkten, welche einfach gesehen werden sollen. Wenn Linien einfach gesehen werden sollen, so ist nur nöthig, dafs die Linien beider Netzhäute, auf denen sie abgebildet sind, Decklinien seien, ohne dafs gerade Punkt für Punkt der Bilder correspondirt. Wenn ein zweites Bild einer Linie in Richtung der Linie selbst verschoben ist, kann es mit dem ersten doch noch in ganzer Länge sich decken. Dieser Fall wird namentlich an geraden Linien, die sich in sich selbst fortdauernd congruent verschieben können, vorkommen. Die Fläche, in welcher gerade Linien bestimmter Richtung liegen müssen, um in dieser Weise zwei correspondirende Bilder zu liefern, heifst ein Linienhoropter. Derselbe heifst Verticalhoropter für die Linien, die in den beiden Sehfeldern normal zu den Netzhauthorizonten erscheinen, Horizontalhoropter für die, welche den Netzhauthorizonten parallel erscheinen. Ein solcher Linienhoropter für Linien, deren Bilder in den Sehfeldern parallele Richtung haben, ist im Allgemeinen ein Hyperboloid mit einer Mantelfläche, was in besonderen Fällen in einen Cylinder oder Kegel übergehen kann. Der Linienhoropter für solche Systeme gerader Linien, die sich in einem Punkte der Horoptercurve schneiden, ist ein Kegel zweiten Grades, welcher den gemeinsamen Schnittpunkt mit den andern Punkten der Horoptercurve verbindet.

Überhaupt wird jede gerade Linie, welche durch zwei Punkte der Horoptercurve geht, einfach gesehen, und durch jeden binocular gesehenen Punkt des Raumes läfst sich mindestens eine einfach erscheinende gerade Linie legen. Diese letztere läfst sich folgendermaafsen finden. Von dem betreffenden Punkte werden die Visirlinien nach beiden Augen gezogen; die eine sei bezeichnet mit $a$, die andere mit $b'$. Im ersten Auge giebt es eine Visirlinie $b$, die mit $b'$ correspondirt, und im zweiten Auge eine solche $a'$, die mit $a$ correspondirt. Man lege eine Ebene durch $a$ und $b$, eine zweite durch $a'$ und $b'$; die Linie, in der beide Ebenen sich schneiden, ist die gesuchte einfach gesehene Linie.

Ich lasse hier noch die Beschreibung der Constructionen folgen, mittels deren man in den beiden oben erwähnten einfacheren Fällen die Lage des Vertical- und Horizontalhoropters und damit auch die Lage der Horoptercurve finden kann, unter der Voraussetzung, dafs die Augen des Beobachters dem Bewegungsgesetze von Listing folgen und in der Primär-
717 stellung keine merkliche Abweichung der Netzhauthorizonte von der Visirebene haben.

A. Fixationspunkt in der Medianebene. Der Verticalhoropter ist ein Kegel, der Horizontalhoropter besteht aus zwei sich schneidenden

Ebenen, die Horoptercurve aus einer geraden Linie und einem ebenen Kegelschnitt.

In *Fig. 249* falle die Ebene der Zeichnung zusammen mit der Medianebene des Kopfes des stehenden Beobachters, und die Haltung des Kopfes sei so, dafs die Primärlage der Blicklinien horizontal und parallel *Ao* in die Ferne gerichtet sei. Der Punkt *o* sei der zwischen den Mittelpunkten der Visirlinie beider Augen mitten inne gelegene Punkt. Man errichte in *o* das Loth *oa* auf der Linie *oA* und mache es so lang, dafs sich in seinem tiefsten Punkte *a* die scheinbar verticalen Äquatorialaxen der Augen, wie sie in der Primärlage der Blicklinien gestellt sind, schneiden. Eine horizontal durch *a* gelegte Ebene, die durch *DE* geht, ist dann der Horopter für die Sehrichtung *oA*. Diese Ebene fällt, wie bemerkt, bei normalsichtigen Augen nahehin mit der Fufsbodenfläche zusammen.

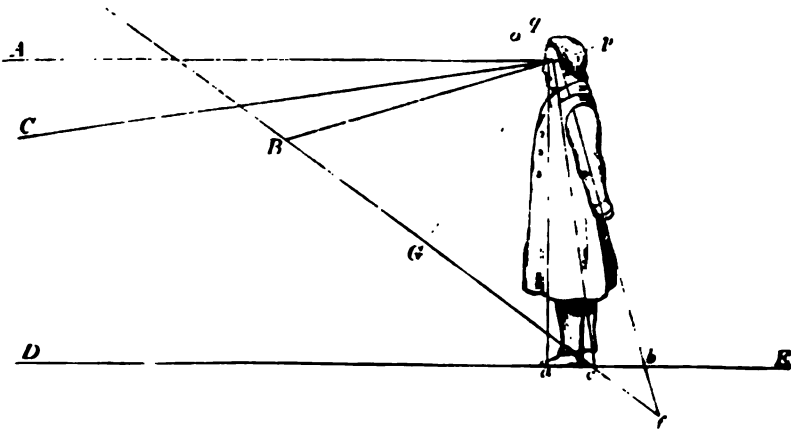



*Fig. 249.*

Nun werde *B* Fixationspunkt, welcher Punkt in der Ebene der Zeichnung, das heifst in der Medianebene des Kopfes des Beobachters angenommen wird. *Bo* ist die Schnittlinie der Visirebene mit der Medianebene. In der Visirebene denken wir uns den Müller'schen Kreis construirt, der durch *B* und die Centra der Visirlinien beider Augen geht; sein medianer Durchmesser sei *Bp*. Man errichte auf *Bp* das Loth *pb*, in welchem die Spitze des Verticalhoropterkegels liegt.

Um den Ort dieser Spitze zu finden, nehmen wir einen dritten Fixationspunkt zu Hilfe *C*, der so gewählt ist, dafs wenn wir unter *o'* das Centrum der Visirlinien des einen oder andern Auges verstehen, welcher Punkt also etwas vor oder hinter der Ebene der Zeichnung in einem in *o* errichteten Perpendikel liegen müfste, dann die Linie *Co'* den Winkel *Ao'B* halbirt.

Die Visirebene für den Fixationspunkt *C* ist dann die eine Ebene des Horizontalhoropters für den Fixationspunkt *B*. Die zweite Ebene des Horizontal-

718 horopters ist die Medianebene. Construirt man in der Visirebene für *C* den Müller'schen Kreis, das heifst einen Kreis, der durch den Fixationspunkt und die beiden Centra der Visirlinien geht, und dessen Durchmesser *Cq* sein möge, so werden einfach gesehen 1. alle geraden Linien überhaupt, welche in der Ebene *Coo'* liegen, 2. alle geraden Linien in der Medianebene, welche durch den Punkt *q* gehen. Bei den letzteren aber freilich correspondirt das Bild ihres entfernteren Endes im einen Auge mit dem Bilde des näheren Endes im andern.

Man errichte in *q* ein Loth auf *Cq*, welches die Linie *DE* in *c* schneidet, dann ist *Bc* die gerade Horopterlinie und der Punkt *f*, in welchem sich *Bc* und *pb* schneiden, ist die Spitze des Verticalhoropterkegels, welcher übrigens durch den Müller'schen Kreis vom Durchmesser *Bp* in der Visirebene des Beobachters geht, und dadurch gegeben ist.

Während also die eine Linie des Punkthoropters die Gerade *Bf* ist, ist die zweite diejenige Ellipse, in welcher der Kegel die Ebene *Coo'* schneidet.

Der Schnitt *Bp* des Kegels ist kreisförmig und steht rechtwinkelig auf der Kante *pf* des Kegels; ein Schnitt, der auf der diametral gegenüber liegenden Kante *Bf* senkrecht steht und die Medianebene in *Go* schneiden mag, mufs ebenfalls kreisförmig sein. Die durch die Mittelpunkte der Augen gelegten Schnitte des Kegels, welche zwischen *Bo* und *Go* hineinfallen, müssen Ellipsen mit längerer Queraxe sein. Die Schnitte, welche aufserhalb des Winkels *BoG* fallen, wie *Co*, müssen Ellipsen mit längerer medianer Axe sein, beziehlich Parabeln oder Hyperbeln, wenn sie die Linie *Bf* erst jenseits *f* schneiden sollten.

B. Der Fixationspunkt in der Primärlage der Blickebene. Der Verticalhoropter ist in diesem Falle ein Hyperboloid, welches die Visirebene in einem Kreise (Müller'schen Horopterkreise) schneidet, der durch den Fixationspunkt und die beiden Centra der Visirlinien geht. Der Horizontalhoropter besteht aus zwei Ebenen, von denen die eine die Visirebene, die andere normal dazu ist. Die Horoptercurve besteht aus dem Müller'schen Kreise und einer geraden Linie.

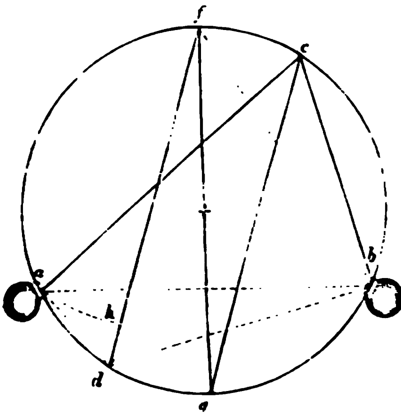


Fig. 250.

Es seien in *Fig. 250* *a* und *b* die Centra der Visirlinien für beide Augen, *c* der fixirte Punkt, so ist der durch *abc* gelegte Kreis der Müller'sche Horopterkreis und ein Theil der Horoptercurve. Es sei ferner *fg* die Medianlinie der Visirebene, so schneidet die gerade Horopterlinie den Kreis in *f*, also seitlich vom Fixationspunkte. Man ziehe den Durchmesser *cd* und die Linie *fd*. In letzterer

errichte man eine Ebene normal zur Ebene des Kreises; diese ist die zweite Ebene des Horizontalhoropters. Alle geraden Linien, die in dieser Ebene liegen und durch den Punkt $d$ gehen, werden einfach gesehen; andererseits auch alle geraden Linien, die in der Visirebene liegen.

Um die gerade Horopterlinie vollständig zu construiren, schneide man 719 auf $fd$ die Länge $fh = fa$ ab, errichte in $h$ ein Loth auf der Visirebene; dieses schneidet die Fufsbodenfläche, das heifst die unendliche Horopterebene für die Primärlagen der Blicklinien, in demselben Punkte wie die gerade Horopterlinie, und dadurch ist letztere zu finden.

Wenn die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane gleich Null ist, wird die gerade Horopterlinie senkrecht zur Ebene des Kreises.

Empirisch kann man die Richtung des Linienhoropters finden, wenn man einen glänzenden geraden Draht oder einen weifsen gespannten Faden vor dunklem Grunde so richtet, dafs man ihn durch zwei verschiedenfarbige Gläser einfach sieht, oder besser so, dafs man bei etwas vermehrter oder verminderter Convergenz der Augen ihn in parallelen Doppelbildern erblickt. Hält man zum Beispiel einen senkrechten Draht nahe vor die Augen in der Medianebene des Kopfes und fixirt seine Mitte bei horizontaler Blickrichtung, so wird man finden, dafs sein oberes Ende im rechten Auge etwas nach links, im linken nach rechts hinüber geneigt erscheint. Fixirt man einen Punkt, der nahe hinter der Mitte des Drahtes liegt, so erscheint dieser in nach oben divergirenden gekreuzten Doppelbildern; fixirt man einen etwas näheren Punkt, so erscheint der Draht in nach unten divergirenden ungekreuzten Doppelbildern. Um den Draht durch zwei farbige Gläser genau einfach, oder um ihn in genau parallelen Doppelbildern zu sehen, mufs man sein oberes Ende etwas vom Beobachter entfernen. Es wurde diese Erscheinung zuerst von Baum beobachtet und von Meissner, wie früher erwähnt ist, zur Untersuchung der Raddrehungen der Augen benutzt. Sowie nämlich durch Raddrehung der Winkel zwischen den scheinbar verticalen Decklinien verändert wird, mufs auch die Neigung des Drahtes gegen die Visirebene geändert werden, wenn er einfach erscheinen soll. Je entfernter der Fixationspunkt und je mehr die Blickebene gehoben ist, desto stärker mufs der Draht gegen diese Ebene geneigt werden. Bei gesenkter Blickrichtung und nahem Fixationspunkte dagegen kann er senkrecht gegen die Blickebene, oder sogar mit seinem oberen Ende dem Beobachter zugeneigt stehen.

Nachdem wir in solcher Weise bestimmt haben, welche Dimensionen in beiden Sehfeldern als gleich und ungleich erscheinen, haben wir noch die Genauigkeit dieser Vergleichung der Sehfelder zu untersuchen. Diese Genauigkeit ist, wie schon im vorigen Paragraphen erörtert wurde, sehr grofs, wenn es sich wie beim gewöhnlichen Gebrauche der Augen darum handelt, Verschiedenheiten der Tiefendimensionen der gesehenen Objecte zu erkennen. Die Vergleichung ist dagegen verhältnifsmäfsig ungenau und mancherlei Täuschungen unterworfen, wenn es sich darum handelt, Doppel-

bilder zu erkennen, oder die Lage der Bilder in den beiden Sehfeldern zu vergleichen. Obgleich das letztere der einfachere Vorgang zu sein scheinen könnte, während die Beurtheilung des stereoskopischen Reliefs mannigfache Erfahrungsmomente zu Hülfe nehmen mufs, so ist die letztere doch um so besser eingeübt, weil sie von der hervorragendsten praktischen Wichtigkeit ist, während die Wahrnehmung der Doppelbilder und ihrer Lage gegen einander nur die Erscheinung der Objecte, nicht diese selbst betrifft. Ebenso
720 vergleichen wir die wirklichen Dimensionen zweier verschieden entfernter Objecte viel sicherer, als die Gesichtswinkel, unter denen sie erscheinen, obgleich die letzteren unmittelbar gleichen oder ungleichen Netzhautstrecken entsprechen, während bei ersterer Vergleichung eine lange Einübung durch Erfahrung nothwendig ist, um den Einflufs der Entfernung auf die Gröfse der Netzhautbilder desselben Objects kennen zu lernen.

Was zunächst die Beurtheilung der Tiefendimensionen mittels des binocularen Sehens betrifft, so geschieht diese am genauesten bei denjenigen Objecten, welche im Horopter liegen und genau einfach gesehen werden, gewisse oben schon erwähnte Täuschungen ausgenommen, die von mangelhafter Schätzung der Convergenz der Gesichtslinien herrühren. Weniger genau ist dieselbe für Objectpunkte die sich zwar vom Horopter entfernen, aber noch nicht so weit, dafs die entstehenden Doppelbilder als solche wahrgenommen würden, am geringsten endlich bei Objecten, welche in deutlich getrennten Doppelbildern erscheinen, um so geringer, je weiter diese auseinander treten.

Ich habe schon früher[1] darauf aufmerksam gemacht, und dasselbe ist durch E. Hering[2] bestätigt worden, dafs die Doppelbilder keineswegs, wie es die ältere Annahme war, in der gleichen Entfernung wie das fixirte Object erscheinen und etwa auf eine imaginäre Horopterfläche, die durch den Fixationspunkt gehen sollte, projicirt würden. Sondern die Doppelbilder erscheinen nahehin in der richtigen Entfernung, wo sich das entsprechende Object befindet. Man kann sich davon durch einfache Versuche leicht überzeugen. Man fixire ganz fest und ohne die Augen zu verwenden einen Punkt der Wand in der Entfernung von einigen Fufs und halte dabei ein Blatt steifen Papiers so vor den unteren Theil des Gesichts, dafs sein oberer Rand einige Zoll vor den Augen und ungefähr in derselben Höhe liegt. Der Papierschirm verdeckt in dieser Stellung alle Gegenstände, die vor dem Beobachter unterhalb seiner Visirebene liegen. Nun lasse man von einem seitlich stehenden Gehilfen eine Stricknadel von unten her in einer beliebig von ihm gewählten Entfernung so in die Höhe schieben, dafs ihr oberes Ende dem Beobachter sichtbar, und zwar, wenn dieser gut und sicher fixirt, von Anfang an nur in Doppelbildern sichtbar wird. Sogleich wird der Beobachter eine Vorstellung von der Entfernung des Drahtes erhalten, auch wenn er nicht ein einziges Mal seinen Fixationspunkt verlassen und die

[1] v. Helmholtz, *Archiv für Ophthalmologie*. X. 1, S. 27.
[2] Hering, *Beiträge zur Physiologie*, Heft 5, S. 335.

Nadel einfach gesehen hat. Zur Probe versuche er nach dem verdeckten Theile derselben zu greifen, so dafs ihm seine Hand auch durchaus verdeckt bleibt. Er wird den Draht gleich beim ersten Versuche treffen, oder wenigstens ganz nahe daran vorbeifahren. Damit der Beobachter hierbei kein Urtheil aus der scheinbaren Dicke des Drahtes auf seine Entfernung bilde, was freilich kaum zu fürchten ist, lasse er den Gehilfen aus einem Vorrath verschieden dicker Nadeln eine beliebige wählen.

Auch bei den Versuchen mit beweglichen stereoskopischen Objecten, welche scheinbar ihre Entfernung vom Beobachter ändern, wie bei dem oben, S. 838 beschriebenen Instrument von Halske, kommen oft deutlich getrennte Doppelbilder zum Vorschein, namentlich bei schneller Bewegung, der die 721
Blicklinien nicht schnell genug folgen können, wodurch aber die Täuschung über die scheinbare Tiefenbewegung durchaus nicht gehindert wird.

Nur bei sehr weit getrennten Doppelbildern, wie sie namentlich von weit entfernten Objecten sich bilden, wenn ein naher Gegenstand fixirt wird, und an denen kaum noch die Zusammengehörigkeit beider Bilder erkannt wird, hört die binoculare Tiefenwahrnehmung auf und es kann dann wie beim monocularen Sehen die Winkelgröfse des entfernten Objects mit der Winkelgröfse des fixirten verglichen werden. Von dem fixirten Objecte kennt man aber die wahre lineare Gröfse, und diese wird dann unwillkürlich der Maafsstab auch für das Bild des entfernteren Objects. Wendet man sich also zum Beispiel gegen die Häuser jenseits der Strafse und fixirt den vorgehaltenen Finger, so werden die in weit getrennten Doppelbildern sichtbaren Häuser scheinbar gröfser, wenn man den Finger entfernt, kleiner, wenn man ihn nähert. Im ersten Falle nimmt die Winkelgröfse des Fingers ab; relativ zu ihm wird die Winkelgröfse der Häuser also gröfser, und wir brauchen den Finger als constanten Maafsstab, da dessen lineare Gröfse und Entfernung fortdauernd deutlich wahrgenommen wird, die der entfernten Häuser aber nicht.

Wie nun bei solchen weit von einander getrennten Doppelbildern die zunehmende Unsicherheit der binocularen Tiefenwahrnehmung leicht auffällt, so läfst sich andererseits auch für die ganz und beinahe einfach gesehenen Objecte nachweisen, dafs ihr Relief desto genauer erkannt wird, je weniger sie sich vom Horopter entfernen, — abgesehen immer von den oben erwähnten besonderen Täuschungen.

Um dies für die gerade Horopterlinie zu zeigen, nehme man eine dünne gerade Stricknadel und biege sie in der Mitte ganz wenig, so dafs ihre beiden Hälften einen Winkel von etwa 175° mit einander machen. Man halte sie dann vor sich, so dafs beide Schenkel dieses Winkels in der Medianebene des Kopfes liegen, wobei sie für ein Auge, was sich auf dem Nasenrücken des Beobachters befände, ganz gerade erscheinen würde, und auch für jedes der wirklichen Augen die schwache Biegung, in starker perspectivischer Verkürzung gesehen, ganz unmerklich wird. Doch erkennt man unter diesen Umständen, mit beiden Augen zugleich sehend, die Knickung der Nadel, vorausgesetzt dafs diese ungefähr die Richtung der geraden

Horopterlinie hat, und also bei Fixation eines entfernteren oder etwas näheren Punktes in merklich parallelen Doppelbildern erscheint. Man erkennt die Knickung der Nadel aber nicht, wenn man derselben eine andere Richtung in der Medianebene giebt, wobei sie einen erheblichen Winkel mit der geraden Horopterlinie macht.

Für den Müller'schen Horopterkreis habe ich den Versuch in folgender Weise eingerichtet: Auf einen Tisch, nahe über dessen Rande sich meine Augen befanden, legte ich neben einander zwei Brettchen. In das eine wurden neben einander, etwa ein Centimeter von einander entfernt, zwei feine lange Stecknadeln festgesteckt, in das zweite Hölzchen eine Nadel derselben Art. Die Hölzchen wurden so neben einander gelegt, dafs die drei Nadeln sich etwa gleich weit vom Beobachter befanden, die beiden äufseren gleich weit
722 von der mittleren entfernt. Ein passender Schirm bewirkte, dafs ich nur die Köpfe und den oberen Theil der drei Nadeln sehen konnte, die etwa 50 Centimeter von meinen Augen entfernt waren. Ich untersuchte nun, wie weit ich die seitliche Nadel nach vorn oder hinten verschieben konnte, ehe ich merkte, dafs die drei Nadeln nicht mehr in einer Ebene, sondern in einem Bogen standen. Wenn die Verschiebung auch nur eine halbe Nadeldicke, also etwa ein Viertel Millimeter betrug, merkte ich es schon. Der Winkelunterschied in der Stellung der mittleren Nadel im Verhältnifs zu den beiden äufseren betrug hierbei nur 21 Secunden. Um aber eine so grofse Genauigkeit zu erreichen, mufste die Richtung der Nadelreihe der Richtung entsprechen, die der Horopterkreis an dem betreffenden Orte hatte. Wenn die Nadeln also gerade vor mir, die mittlere in der Medianebene meines Kopfes und die rechte und linke gleich weit von mir entfernt waren, so urtheilte ich mit grofser Genauigkeit, ob sie in einer Ebene standen. Befand sich aber die rechte Nadel etwas näher zu mir, die linke ferner, so war ich weit weniger sicher in der Entscheidung, ob sie in einer geraden Linie oder in einem Bogen standen. Befand sich die mittlere Nadel dagegen rechts seitwärts von der Mittelebene meines Kopfes, wo die Richtung des Horopterkreises sich nach rechts hin dem Beobachter nähert, so mufste auch die rechte Nadel mir etwas näher stehen, als die linke, wenn ich die gröfste Sicherheit in der Beurtheilung des Reliefs der Nadelreihen haben sollte. War die Reihe der Nadeln bei dieser Stellung senkrecht gegen die Blickrichtung, so war die Wahrnehmung, ob sie einen Bogen oder eine gerade Linie bildeten, merklich schwieriger. Am günstigsten war es also immer, wenn die Richtung der Nadelreihe der Richtung der Tangente des Horopterkreises entsprach.[1]

Es ist bei diesem Versuche zu bemerken, dafs man die Nadeln nicht zu weit auseinander rücken darf, weil sonst die erwähnte Täuschung eintritt, vermöge deren wir einen gegen uns concaven horizontalen Bogen für gerade zu halten geneigt sind. Bei den oben angegebenen Entfernungen der Nadeln

[1] Der Sinn dieses Versuchs ist von Herrn E. Hering in seiner Kritik gänzlich mifsverstanden worden

würde die Tiefe des Bogens, der als gerade Linie erscheint, für die meisten Augen weniger als 0,1 Millimeter betragen, also viel kleiner sein als die wahrnehmbaren Verrückungen.[1] Und auch bei solchen gröfseren Entfernungen der Nadeln, wo die Täuschung sichtbar werden sollte, wird man finden, dafs der Spielraum zwischen den Verschiebungen, welche einen anscheinend concaven und convexen Bogen vortäuschen, sehr viel kleiner ist, wenn die Reihe der Nadeln der Richtung des Horopterkreises sich anschliefst, als wenn sie mit ihr einen Winkel bildet.

Wenn wir geradeaus nach einem Punkt des Horizonts blicken, ist der Horopter eine unterhalb der Visirebene liegende horizontale Ebene, welche bei normalsichtigen Augen meist ganz oder nahehin mit der Fufsbodenfläche des stehenden Beobachters zusammenzufallen scheint. Wenn wir einen Punkt in der Medianlinie der Fufsbodenebene fixiren, so ist zwar nicht die ganze
Ebene Horopter, aber die gerade Horopterlinie liegt auch dann doch ganz 723
in der Fufsbodenebene. An der Fufsbodenebene beobachte ich nun entsprechende Erscheinungen, welche schliefsen lassen, dafs auch in diesem Falle die Beurtheilung des Reliefs der Fufsbodenebene besonders genau ist, weil sie Horopterfläche ist. Um dies zu prüfen, betrachte man, auf ebenem Felde stehend, zunächst das Relief der Bodenfläche in gewöhnlicher Weise. Man sieht diese Fläche mit ihren kleinen Wölbungen und Senkungen deutlich horizontal bis in ziemlich grofse Entfernungen. Nun sehe man nach derselben Fläche entweder mit seitwärts geneigtem Kopfe unter dem Arme durch, oder mit abwärts geneigtem Kopfe zwischen den Beinen, wobei man aber auf einen Stein oder Erdhügel steigt, so dafs die Höhe des Kopfes über der horizontalen Fläche nicht merklich geändert wird. Man wird nun die ferneren Theile der Bodenfläche nicht mehr horizontal, sondern wie eine auf die Himmelsfläche gemalte Wand sehen. Ich habe viele solche Beobachtungen auf der von Heidelberg nach Mannheim führenden Strafse angestellt. Vor mir lag hinter einer Reihe von Feldern der Neckar, der einen Einschnitt in das ebene Terrain macht, jenseits wieder ebenes Land, welches sich etwa eine Meile weit bis an den Ölberg bei Schriesheim ausdehnt. Bei aufrechter Haltung des Kopfes erkannte ich vollkommen gut die weitgedehnte Ebene jenseits des Flusses; bei schräger oder verkehrter Haltung schien das Terrain vom Flusse aus unmittelbar zu dem Ölberg in die Höhe zu steigen. Eine Hecke, die durch ein Stück Feld von einem dahinter liegenden Hause getrennt war, was ebenfalls bei aufrechtem Kopfe deutlich zu sehen war, schien bei schräger Haltung ganz nahe vor dem Hause zu liegen, und so weiter. Auch die kleinen Unebenheiten der Strafse waren mir bei natürlicher Kopfhaltung viel plastischer.

Alle diese Erscheinungen treten ebenso ein, wenn man, statt den Kopf umzudrehen, das Bild umkehrt. Am vortheilhaftesten sind dazu rechtwinkelige

[1] Dafs ich in meiner früheren Arbeit angegeben habe: ein Bogen, dessen Krümmung etwa der des Horopterkreises entspricht, erscheine gerade, beruhte auf Messungen bei zu kleinen Distanzen der Nadeln; der Bogen ist in der That beträchtlich flacher, als der des Horopterkreises.

Prismen zu verwenden mit horizontal liegender Hypotenusenfläche, durch welche man, wie oben Seite 634 erörtert ist, die vorliegenden Gegenstände verkehrt sieht. Ich klebte zwei solche Prismen in der Entfernung meiner beiden Augen von einander entfernt, auf ein ebenes Brettchen und beobachtete durch sie die Landschaft. Das stereoskopische Relief der Bodenfläche schwand hierbei ebenso, wie beim Sehen zwischen den Füfsen durch. Andererseits sieht man durch sie zuweilen das Relief niedrig liegender Wolken besser als mit blofsen Augen, weil die Wolken, durch die Prismen gesehen, in Richtung des Fufsbodens zu liegen kommen.

Wenn man endlich mit verkehrtem Kopfe zwischen den Beinen hindurch und gleichzeitig durch die umkehrenden Prismen die Landschaft betrachtet, so hat man wieder das deutliche Relief der Bodenfläche wie beim natürlichen Sehen. In diesem Falle ist das Spiegelbild der Bodenfläche wieder im Horopter der umgekehrten Augen. Dieser letzte Versuch zeigt, dafs nicht die ungewöhnliche Stellung des Kopfes an sich, noch die ungewohnte Richtung des Bildes an der mangelhaften Genauigkeit der Tiefenwahrnehmung Schuld sind, sondern die verkehrte Lage des Bildes gegen die Augen.

724 Hiermit stimmt es ferner überein, dafs Herr E. Hering,[1] dessen Augen eine sehr geringe Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane haben, erklärt, dafs er die ferneren Theile der Fufsbodenfläche mit zwei Augen nicht anders als bei monocularer Betrachtung sehe.

Wie wesentlich die richtige Wahrnehmung des Reliefs der Bodenfläche beim Gehen ist, ist ersichtlich. Meistens gehen wir vorwärts, ohne die Bodenfläche direct anzusehen, und bleiben doch genügend unterrichtet über die kleinen Unebenheiten ihrer Form. Wie sehr selbst eine ganz kleine scheinbare Verschiebung des Bildes der Bodenfläche stören kann, habe ich neuerdings noch vielfältig erfahren. Wegen eines geringen Grades von Kurzsichtigkeit trug ich bei einer Gebirgsreise eine Concavbrille (Nasenklemmer) mit ganz schwachen Gläsern (36 Zoll Brennweite), um die Fernsichten besser zu sehen. Die Gläser habe ich so abschleifen lassen, dafs ihre optischen Centra gleich weit von einander stehen, wie meine Augen, so dafs ferne Objecte, durch die Centra der Brille gesehen, keine sichtliche Tiefenverschiebung erleiden, wie dies geschieht, wenn die Centra der Gläser einander zu nahe stehen. Dennoch ist eine kleine Verschiebung der durch die unteren Theile der Gläser gesehenen Objecte da, weil die Axen der beiden Gläser durch die sie verbindende Feder nicht ganz genau parallel gehalten werden, und wenn ich genau auf den Fufsboden achte, so scheint dieser dicht vor meinen Füfsen eine kleine ansteigende Wölbung zu haben, die von einer falschen stereoskopischen Wirkung der Gläser herrührt. Obgleich dies so schwach ist, dafs es nur bei aufmerksamer Betrachtung bemerkt werden kann, macht mir dieser Umstand es unmöglich, die Brille zu gebrauchen, wenn ich schnell steile steinige Gebirgswege hinabgehen will, wo es nöthig ist, den Fufs ganz

[1] E. Hering, *Beiträge zur Physiologie.* Heft 5, S. 355. Dafs mir die Fufsbodenfläche nicht, wie er aus seiner Theorie schliefst, als eine verticale Ebene erscheint, brauche ich wohl kaum zu versichern.

sicher zu setzen, und die Zeit fehlt, jeden Stein, auf den man treten will, einzeln zu betrachten und seine Entfernung zu schätzen. Trotzdem ich durch die Brille die Steine etwas schärfer sehe, als mit blofsen Augen, gehe ich sicherer ohne die Brille. Es war mir dies ein auffallender Beweis für die Genauigkeit und Schnelligkeit, mit der die eingeübte Association zwischen Sinnesempfindungen und Bewegungen eintritt.

Mit der Veränderung des Reliefs bei veränderter Kopfhaltung scheint mir auch die scheinbare Veränderung der Farben der Landschaft zusammenzuhängen, die dabei eintritt. So lange wir ihre Tiefendimensionen deutlich wahrnehmen, sind die Veränderungen der Farben der Objecte durch die zwischengelagerte Luft die natürlichen und gewohnten Attribute der Ferne, die uns daher nicht als solche auffallen. Sobald wir aber die Wirkung des Reliefs zerstören durch Umkehrung des Kopfes oder Umkehrung des Bildes und die Landschaft als ebenes Bild sehen, so wird unsere Aufmerksamkeit auf die Farben hingelenkt. Auch bei monocularer Betrachtung der Landschaft ist noch ein geringer Unterschied da, wenn man erst aufrecht und dann unter dem Arme durchsieht, der mir davon herzurühren scheint, dafs der obere Theil der Netzhaut gegen das Grün des Bodens, der untere gegen das Blau des Himmels ermüdet ist, und deshalb die Farben etwas lebhafter werden, wenn sie auf neue Stellen der Netzhaut fallen. Aber dieses eigen- 725
thümliche Heraustreten der Lufttöne an den fernen Objecten finde ich nur bei binocularer Betrachtung recht deutlich. Auch hierfür ist es charakteristisch, dafs für Herrn Hering seiner Versicherung nach monoculare und binoculare Betrachtung keinen Unterschied macht.

Der Grund dieser besonderen Genauigkeit des Reliefs im Horopter ist, wie auch E. Hering annimmt, in dem psychophysischen Gesetze von Fechner zu suchen. Für Gegenstände im Horopter sind die scheinbaren Entfernungen vom Fixationspunkte gleich; die kleinsten Abweichungen von der Gleichheit dieses Verhältnisses erkennen wir leicht und genau. Einer solchen entspricht eine Abweichung des betreffenden Objectpunkts vom Horopter. Wenn dagegen die Form von Objecten beurtheilt werden soll, welche nicht im Horopter liegen, so kommt es auf die Verhältnisse zwischen den Distanzen der Doppelbilder ihrer verschiedenen Punkte an und nicht mehr blofs auf die Existenz eines Unterschiedes zwischen beiden Bildern. Correspondirende Netzhautpunkte sind nach unserer Ansicht solche, deren gegenseitige Lage in der Erfahrung am häufigsten verglichen worden ist, nach der anatomischen Hypothese solche, welche einen natürlichen Zusammenhang in ihrer Localisation haben. Durch beide Voraussetzungen erklärt es sich, dafs die Vergleichung correspondirender oder nahehin correspondirender Netzhautbilder besser und sicherer geschieht als die von disparaten.

Wir pflegen deshalb auch unwillkürlich Objecte, die wir genau und bequem sehen wollen, möglichst in den Horopter zu bringen. Wenn man bei möglichst bequemer Haltung des Buches, in dem man liest, schwach divergirende Doppelbilder der verticalen Linien bildet, findet man sie einander

parallel, die verticale Horopterlinie fällt also in die Ebene des Papiers. Für solche Augen, die der Betrachtung ferner Objecte angepafst sind, stehen dann allerdings die horizontalen Linien des Papiers nicht im Horopter. Es mag das der Grund sein, warum in der Form der europäischen Buchstaben verticale Linien so auffallend bevorzugt sind gegen die horizontalen.

Die zweite Art der Vergleichung der beiderseitigen Sehfelder ist die, wobei wir die scheinbare Vertheilung der Objecte im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde beachten und die Doppelbilder wahrzunehmen suchen. Ich habe schon oben angeführt, dafs die Erkennung der Doppelbilder im Allgemeinen nur in der Mitte der Sehfelder gut geschieht und in deren peripherischen Theilen sehr grobe Ungenauigkeiten zeigt. Der wichtigste Umstand aber, welcher die Wahrnehmungen der verschiedenen Lage zweier Halbbilder eines und desselben Objects verhindert, ist die Vorstellung von der Einheit dieses ihres Objects. Wenn, wie wir wahrscheinlich zu machen gesucht haben, die Abmessungen der Sehfelder auf einer eingeübten Schätzung durch das Augenmaafs beruhen, so beruht auch die Wahrnehmung der Doppelbilder auf Augenmaafs und kann wie alle Schätzungen durch Augenmaafs aufserordentlich weit irre geführt werden durch allerlei psychische Einflüsse, namentlich durch solche, welche uns die, sei es wahre, sei es falsche Vorstellung aufdrängen, dafs die beiden Bilder einem und demselben Objecte angehören. Am schwersten bemerken wir daher die Verschiedenheit
726 der beiden Bilder wirklicher körperlicher Objecte, wenn dieselbe nicht sehr grofs und auffallend ist; daher denn auch die meisten Laien das Phänomen der Doppelbilder gar nicht kennen, obgleich sie solche fast fortdauernd in ihrem Gesichtsfelde gehabt haben müssen. Schwer trennen wir auch Doppelbilder von Linien gleicher Färbung und Helligkeit, wenn dieselben so gezogen sind, dafs ihre Deutung als Bilder einer und derselben objectiven Linie sehr nahe liegt. Am meisten erschwert aber wird die Wahrnehmung der Doppelbilder durch die Augenbewegungen. Bei der Betrachtung eines Objectes fixiren wir nach einander verschiedene Punkte seiner Oberfläche, sodafs die Netzhautgruben fortdauernd von correspondirenden Bildern getroffen werden. Diese Theile der Bilder werden zugleich am deutlichsten wahrgenommen und fesseln unsere Aufmerksamkeit am meisten. So wie unsere Aufmerksamkeit sich einem seitlich gelegenen Punkte des Objects zuzuwenden beginnt, welcher vielleicht in Doppelbildern erscheint, so gleiten unsere Augen fast unwillkürlich zu seiner Fixation über, was wir nur durch besonders dahin gerichtete Aufmerksamkeit und Willensanstrengung hindern können.

Will man also Doppelbilder möglichst gut erkennen, so mufs man erstens Augenbewegungen vermeiden und einen bestimmten, wohl bezeichneten Fixationspunkt festhalten. Zweitens ist es vortheilhaft, den zu unterscheidenden Bildern verschiedene Farbe oder Helligkeit zu geben, was ihre Deutung als Bilder desselben Objects erschwert oder unmöglich macht. Drittens kann man oft allerlei andere Ungleichheiten der Bilder durch theilweise Verdeckung, durch Hinzufügung ungleicher Merkzeichen hervorbringen, um die

Aufmerksamkeit des Beobachters auf ihre Verschiedenheit hinzulenken, und dadurch die Unterscheidung der Doppelbilder zu einer ziemlich grofsen Feinheit treiben.

Methoden, mittels deren man den genannten Schwierigkeiten aus dem Wege gehen und möglichst genaue Vergleichungen der scheinbar gleichen Abmessungen in beiden Sehfeldern erhalten kann, sind oben bei der Aufgabe, die Lage der correspondirenden Punkte und Linien zu suchen, beschrieben worden. Aber auch wenn man die besten Methoden anwendet, ist die Vergleichung correspondirender Raumgröfsen der beiden Gesichtsfelder merklich unvollkommener, als die entsprechender Raumgröfsen in demselben Felde.

Um bestimmte Zahlen hierfür zu gewinnen, sind die oben beschriebenen Versuche von VOLKMANN sehr geeignet. Bei denen, welche nach dem Schema der *Fig. 245* angestellt und auf Seite 853 beschrieben sind, verglich er die verticalen Abstände zwischen je zwei Paaren von Horizontallinien, von denen das eine Paar im rechten Sehfelde rechts von der Mittellinie, das andere im linken Sehfelde links von der Mittellinie lag. Im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde schienen beide Paare in der Mittellinie zusammenzustofsen. Das eine Paar der Linien hatte einen festen Abstand von 5,5 Millimeter von einander. Im Mittel von je 30 Beobachtungen solcher Art, wobei VOLKMANN den Abstand des zweiten beweglichen Paars dem des andern gleich zu machen versuchte, gewann er zwar sehr gut stimmende Mittelwerthe, die nur um 0,01 und 0,03 Millimeter von dem richtigen Werthe abwichen. Sieht man aber die einzelnen Beobachtungen an, so findet man, dafs er in der ersten Reihe (bewegliche Horizontale rechts) einmal den Abstand 6,0, und dann wieder 5,0 mit 5,5 für identisch hielt, und in der 727
zweiten Reihe kommt wieder 5,0 und 5,85 unter den Einzelbeobachtungen vor. In anderen Reihen, wo die Linien vertical gezogen waren, kommt 5,55 und 4,75 vor als gleich mit 5,2, und dann wieder 5,55 und 4,85 als gleich mit 5,2.

Es würde nun allerdings ganz unmöglich sein, wenn man die beiden Linienpaare in demselben Sehfelde neben einander liegend und an einander anstofsend erblickte, so grofse Fehler zu machen. Die Schwierigkeit bei der binocularen Vergleichung scheint mir hauptsächlich ihren Grund darin zu finden, dafs die Fixation schwer ganz fest gehalten wird, und die beiden Sehfelder deshalb fortdauernde kleine Schwankungen in Bezug auf die Art, wie sie sich decken, zu machen pflegen. Um dies zu prüfen, habe ich auf ein Papierblatt zwei parallele Linien in 5,5 Millimeter Abstand gezeichnet, die bis zum Rande reichen, auf einem zweiten zwei schwach convergirende, die am einen Ende 4,5, am andern 6,5 Millimeter von einander entfernt sind, und nun das erste Blatt auf das zweite gelegt, so dafs das convergirende Linienpaar zum Theil sichtbar bleibt und als Fortsetzung des parallelen Paars erscheint. Während ich nun das obere Blatt fortdauernd ein wenig hin und herbewegte und dadurch die Schwankungen der Sehfelder nach-

machte, suchte ich mit einem Auge zu ermitteln, ob die convergirenden Linien, wo sie am Rande des Papierblatts hervorkommen, gleich weit von einander abstanden, wie die parallelen. Hierbei wurden also beide Linienpaare in demselben Gesichtsfelde gesehen und durch die Bewegungen des einen Paars das Schwanken der Augenaxen bei der binocularen Betrachtung nachgemacht. Andererseits konnte ich das convergente Linienpaar mit einem weißen Papierblatt theilweise verdecken und es dann, soweit es sichtbar war, wie bei den Versuchen von Volkmann binocular zur Berührung mit dem Paar paralleler Linien bringen, so daß im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde beide Paare an einander stießen und das eine als Fortsetzung des andern erschien. Diese Methode ist noch etwas vortheilhafter, als Volkmann's, bei dem je eine Linie jedes Paars ganz ausgezogen war und sich mit der correspondirenden deckte, während bei meinen Versuchen, wie bei dem auf Seite 859 beschriebenen und nach dem Schema der *Fig. 247* angestellten Versuche, gar keine Deckung, sondern nur scheinbare Fortsetzung je zweier Linien vorkam. Abweichungen in den Abständen beider Linienpaare von $^1/_2$ Millimeter wurden immer gleich erkannt, solche von $^1/_4$ Millimeter kaum übersehen. Dabei stellte sich heraus, daß ich die binoculare Vergleichung der correspondirenden Abstände ziemlich eben so gut vollzog, als die monoculare derselben Abstände in dem gleichen Sehfelde, wenn ich im letzteren Falle durch fortdauerndes Hin- und Herbewegen der einen Zeichnung das Schwanken der beiden Sehfelder gegen einander nachahmte.

Auffallend groß sind auch die einzelnen Fehler in den Versuchen, wo Volkmann die Richtung einer Linie in einem Sehfelde mit der einer anderen im anderen Sehfelde verglich. Es kommen hierbei Abweichungen vom Mittel im Betrage eines halben Grades sehr häufig, solche bis zu einem Grade zuweilen vor. Zwei Linien aber, die im monocularen Sehfelde unter einem Winkel von 179 Grad zusammenstoßen, für eine gerade Linie zu halten,
728 ist ganz unmöglich, und kaum wird man bei solchen, die unter $179^1/_2$ Grad zusammenstoßen, die Abweichung übersehen. Noch weniger wäre es möglich, im monocularen Felde zwei nahe neben einander hinlaufende gerade Linien, die eine Neigung von einem ganzen oder halben Grade gegen einander haben, für parallel zu halten. Daß nun solche Abweichnngen bei Vergleichung beider Sehfelder übersehen werden, scheint mir nur erklärlich zu sein aus den Schwankungen in der Größe der Raddrehungen beider Augen, die man, wie ich oben bemerkt habe, auch mittels der Nachbilder wahrnehmen kann. Daß trotz dieser Schwankungen in den einzelnen Versuchen doch die Mittelzahlen vieler Versuche ein recht genaues Resultat geben können, braucht nicht aufzufallen.

Die sehr viel größere Genauigkeit, welche bei der Beurtheilung der Tiefendimensionen wirklicher Objecte erreicht wird, möchte ich demnach wohl größtentheils aus dem Umstande erklären, daß wir außerordentlich viel besser eingeübt sind, an den Contouren eines binocular gesehenen Gegenstandes von bekannter Körperform mit den Blicklinien entlang zu laufen,

als eine unveränderliche Fixation bei ungleichen Bildern beider Netzhäute festzuhalten.

Ich muſs in dieser Beziehung auf eine Thatsache aufmerksam machen, die ich oft beobachtet habe. Wenn ich eine schwer zu combinirende stereoskopische Zeichnung vor Augen habe, so gelingt es nur mühsam zu einander gehörige Linien und Punkte zur Deckung zu bringen, und bei jeder Augenbewegung gleiten sie wieder aus einander. So wie ich aber ein lebhaftes Anschauungsbild von der dargestellten körperlichen Form gewonnen habe, was oft wie durch einen glücklichen Einfall plötzlich auftritt, so gleite ich mit vollster Sicherheit mit beiden Augen über die Figur hin, ohne daſs ihre Bilder sich wieder trennen. Mit dem Anschauungsbilde der Körperform ist auch die Regel für die Art der Bewegung der Blicklinien bei der Betrachtung des Körpers gegeben, ja es kann, wie ich glaube, mit Recht die Frage aufgeworfen werden, ob denn das Gesichtsanschauungsbild einer Körperform überhaupt einen anderen reellen Inhalt hat, als den, diese Regel für die Bewegungen der Augen zu sein. Wenigstens müssen wir diese Frage verneinen, wenn wir die Ausmessung der Sehfelder aus den bei den Augenbewegungen gemachten Erfahrungen herleiten.

Wir wollen uns jetzt zur Untersuchung derjenigen Umstände wenden, durch welche die Genauigkeit in der Vergleichung beider Sehfelder beschränkt wird, wo also theils Bilder, die auf nicht correspondirenden Punkten beider Netzhäute abgebildet sind, zusammenfallen, theils solche, die auf correspondirenden abgebildet sind, verschiedene Stellung im Gesichtsfelde einzunehmen scheinen.

Der Hauptgrund für die Verschmelzung der Bilder disparater Netzhautpunkte ist die Ähnlichkeit, welche sie mit den beiden perspectivischen Bildern eines und desselben Objects haben. Je vollkommener eine solche Ähnlichkeit ist, desto schwerer wird es uns, uns loszumachen von der Vorstellung des einen räumlichen Objects und die Anordnung und gegenseitige Entfernung der einzelnen gesehenen Linien und Punkte im Sehfelde unabhängig von jener Anschauung zu vergleichen.

Betrachten wir zum Beispiel die beiden senkrechten Linienpaare der
*Fig. E, Taf. IV*, so daſs wir die rechte Linie des rechten Paares mit dem 729
rechten, die rechte Linie des linken Paares mit dem linken Auge fixiren, so erscheinen uns in dem Gesammtbilde zwei Linien, von denen die rechte etwas tiefer zurückliegt, als die linke. Die beiden Bilder der linken Linie können dabei nicht auf correspondirende Netzhautstellen fallen, weil die beiden Linien des rechten Paares 3,5 Millimeter von einander entfernt sind, die des linken nur 2,7, also 0,8 Millimeter weniger. Dessen ungeachtet finde ich es fast unmöglich, zu erkennen, daſs die eine oder andere der beiden scheinbar schräg hinter einander stehenden Linien in einem Doppelbilde erscheint. Nur bei sehr anhaltend strenger Fixation der einen Linie sehe ich Andeutungen davon auftauchen. Es wird vielleicht einzelne Beobachter geben, welche auch in diesem Falle die Doppelbilder leicht sehen,

andere, denen es gar nicht gelingt; denn es zeigen sich in dieser Beziehung sehr grofse individuelle Unterschiede.

Bei den beiden Linienpaaren *H Taf. IV* ist der Unterschied der Entfernungen gröfser (3,7 und 7 Millimeter, Unterschied 3,3 Millimeter). Bringe ich sie zur Deckung, so gelingt es mir, auch diese als ein weit hinter einander liegendes Linienpaar zu sehen, aber die Doppelbilder der einen oder auch wohl beider Linien verschwinden mir dabei niemals ganz, weil ihr Abstand jetzt verhältnifsmäfsig zu grofs ist.

In der *Fig. J* haben die beiden senkrechten Linienpaare ebenfalls ziemlich verschiedene Abstände (6,7 und 9,2 Millimeter, Unterschied 2,5 Millimeter), doch ist der Unterschied ihrer Abstände geringer, als in den Linienpaaren *H*, und durch die oberen und unteren Begrenzungslinien, welche das perspectivische Bild einer rechteckigen Tafel herstellen, ist die Verschmelzung erleichtert. Bei dieser Figur ist für mich der Unterschied gerade hinreichend, dafs ich leicht und vollständig die stereoskpopische Vereinigung vollziehe, und andererseits doch auch mit geringer Anstrengung der Aufmerksamkeit die vorhandenen Doppelbilder erkennen kann. Fixire ich im letzteren Falle eine der senkrechten Linien, so erscheint mir die andere im Doppelbilde, und zwar sehe ich die kürzere rechte Linie des Gesammtbildes leichter doppelt als die längere linke. Fixire ich die rechte Linie des Gesammtbildes und vermehre ganz langsam die Convergenz der Augen, indem ich sehr vorsichtig und leise die betreffende Muskelanstrengung die ich aus langer, Übung kenne, eintreten lasse, so kann ich die rechte Linie des Gesammtbildes in Doppelbilder von sehr geringem Abstand (etwa 1 bis $1^1/_2$ Millimeter) aus einander treiben, wobei auch die linke Verticale in Doppelbildern erscheinen mufs, was mir auch für Augenblicke zu erkennen gelingt. Doch ist es sehr schwer, eine solche Augenstellung ohne bestimmtes Fixationsobject für einige Zeit festzuhalten, und das fortdauernde Schwanken der Blicklinien verräth sich durch das entsprechende Schwanken des Abstandes der beiden Doppelbilder der rechten Linie. Leichter gelingt es mir, an der *Fig. II* den Blick so festzuhalten, dafs das linke Linienpaar ganz innerhalb des rechten erscheint und alle vier Linien einzeln gesehen werden.

Hat der Beobachter also seine Augenbewegungen hinreichend in seiner Gewalt, so kann er die beiden Bilder willkürlich in jeder beliebigen Lage zum Decken bringen und auch im Allgemeinen in jeder Lage die Doppel-
730 bilder erkennen, vorausgesetzt, dafs diese nicht allzu nahe neben einander liegen.

Ich bin mir auch wohl bewufst, welche Art von Willensintention ich anwenden mufs, um die Doppelbilder entweder zu sehen, oder nicht zu sehen. Will ich sie nicht sehen, so suche ich durch den Blick abzumessen, wie viel die rechte Linie der *Fig. E, H* oder *J* mehr von mir entfernt ist, als die linke, ich wende also meine Aufmerksamkeit den Tiefendimensionen zu. Will ich die Doppelbilder sehen, so suche ich zu beurtheilen, welche Form das Gesammtbild als gezeichnete Figur in der Ebene des Papiers hat, wie

grofs etwa der horizontale Abstand der verticalen Linien nach der Ebene des Papiers gemessen sei, und ähnliches. Es erscheint mir dies durchaus als ein ähnlicher Unterschied, wie er bei der Beurtheilung der Form der Flächen eines Cubus zum Beispiel vorkommt, den ich in irgend einer schrägen Stellung vor mir habe. Ich kann mir den Cubus einmal darauf ansehen, ob seine Flächen wirklich rechtwinkelig seien, und seine Kanten gleich lang, was sich bis zu einem gewissen Grade der Genauigkeit ja auch bei einer schiefen Ansicht desselben erkennen läfst. Oder ich kann den Cubus zeichnen wollen und mir seine Flächen darauf ansehen, wie sie als Parallelogramme im Sehfelde erscheinen. Dann werde ich darauf achten, um wie viel gröfser die stumpf erscheinenden Winkel aussehen, als die spitz erscheinenden, wie viel gröfser die eine Diagonale seiner Flächen erscheint als die andere, und so fort. Mit beiden Anschauungsweisen kann ich nach Willkür wechseln. Sind die Flächen perspectivisch sehr verzogen, so werde ich, während ich deutlich wahrnehme, dafs die Winkel der Begrenzungsflächen alle gleich und alle Rechte sind, doch nicht ganz übersehen können, dafs die drei um eine Ecke herum gelagerten Rechten im Bilde gleich vier Rechten erscheinen, und überhaupt, dafs die verschiedenen rechten Winkel verschieden grofs erscheinen. Wenn aber die Ansicht nur wenig schief ist, werde ich vielleicht auch bei der gröfsten Aufmerksamkeit und Übung nicht erkennen können, dafs die Winkel im Sehfelde verschieden grofs erscheinen; so zum Beispiel, wenn mein Auge sich in der Verlängerung einer der Kanten befindet, und ich also überhaupt nur eine Fläche des Cubus und diese mit geringer Neigung gegen die Blicklinie vor mir habe. Überhaupt sind wir viel mehr geübt, die wahre körperliche Form, als die Erscheinung im Gesichtsfelde richtig abzuschätzen, worin eine Hauptschwierigkeit des Zeichnens nach Körpern besteht.

Genau so verhält es sich mit den Tiefenanschauungen im Gesichtsfelde und mit den Doppelbildern. Ich wende meine Aufmerksamkeit den Tiefendimensionen zu; dann sind die verschiedenen Entfernungen entsprechender Bildpunkte in den beiden Netzhautbildern das erfahrungsmäfsige sinnliche Zeichen für ein und dieselbe räumliche Dimension des äufsern Objects, und ihre Verschiedenheit drängt sich der Aufmerksamkeit des Beobachters nur dann auf, wenn sie sehr grofs ist; wie die scheinbar rhomboidische Gestalt der Flächen des Würfels nicht ganz vergessen werden kann, trotz der richtigen gleichzeitigen Wahrnehmung ihrer wirklichen quadratischen Gestalt, wenn die perspectivischen Verziehungen sehr grofs sind.

Dann aber wieder kann ich meine Aufmerksamkeit der Erscheinung im 731
Gesichtsfelde zuwenden, und werde nun Verschiedenheiten der beiden Bilder bemerken können, die ich vorher übersah; dabei wird sich aber die Wahrnehmung der Tiefendimension ebenso aufdrängen können und mich verleiten, sehr kleine Verschiedenheiten der beiden Ansichten des Körpers zu übersehen, wie die Wahrnehmung der wirklichen Gestalt des Würfels mich vollständig hindern kann, sehr kleine perspectivische Verziehungen seiner Flächen

zu erkennen. Im einen, wie im andern Falle handelt es sich darum, die Verschiedenheit gewisser Raumgröfsen im Gesichtsfelde zu erkennen, welche wir erfahrungsmäfsig als den sinnlichen Ausdruck gleicher Gröfsen im objectiven Raume kennen, nur dafs einmal die beiden zu vergleichenden Gröfsen in den beiden verschiedenen Sehfeldern liegen, im anderen Falle beide in demselben Gesichtsfelde.

Wenn ich übrigens in den *Fig. H* und *J* die Tiefendimensionen zur Anschauung zu bringen suche, so gelingt dies am besten, wenn ich den Blick vom einen zum anderen Ende der Tiefendistanz wandern lasse. Aber es gelingt auch, wenn gleich weniger lebhaft bei festgehaltenem Blicke, und zwar finde ich an den von Zeit zu Zeit auftauchenden Doppelbildern, dafs ich dann so fixire, dafs die Mitte der linken Figur auf die Mitte der rechten fällt und beide Verticallinien des Gesammtbildes in Doppelbildern erscheinen. Es ist dies die Stellung, welche die geringsten Distanzen sämmtlicher Doppelbilder giebt.

Übrigens wird das Sehen der Doppelbilder erleichtert, wenn man irgend welche, oft selbst sehr unbedeutende Incongruenzen in den beiden zu vereinigenden Bildern anbringt, welche der Deutung, als gehörten sie beide ein und demselben räumlichen Objecte an, widersprechen. So braucht man, wie Volkmann gezeigt hat, in der *Fig. E* nur eine Hälfte einer der Linien mit einem weifsen Blatte zu verdecken, oder zwei Horizontallinien in verschiedener Höhe in den Zwischenräumen der beiden Paare von Verticallinien zu ziehen, so dafs sich *H* ähnliche Figuren bilden, deren Querstriche aber verschieden hoch liegen. Oder man mache, wie in *Fig. P, Taf. VI* das eine Linienpaar schwarz auf weifsem Grunde, das andere weifs auf schwarzem Grunde, wodurch die stereoskopische Vereinigung erschwert, wenn auch nicht unmöglich gemacht wird. In *Fig. G, Taf. IV* sind die Linienpaare der *Fig. E* copirt und nur zwei Punkte hinzugefügt, welche gleiche Entfernung von der links liegenden Linie jedes Paares haben, wobei aber der eine innerhalb, der andere aufserhalb der rechten Linie fällt. Vereinigt man die beiden Punkte, indem man sie fixirt, so erscheinen die daneben liegenden beiden Linien sogleich getrennt, denn da die eine rechts, die andere links von dem fixirten Punkte sich befindet, so ist dies ein viel auffallenderer Unterschied, als wenn sie beide an derselben Seite des Fixationspunktes, und nur verschieden weit entfernt lägen. Aber auch, wenn man nicht den Punkt, sondern die linke Linie des Gesammtbildes fixirt, erscheint der Punkt einfach, während die scheinbar hinter ihm durchgehende rechte Linie jetzt ziemlich leicht als doppelt erkannt wird. Es drängt sich hier die Wahrnehmung auf, dafs die rechte Linie der linken ein Mal näher als der Punkt erscheint, und ein Mal ferner, und wir erkennen nun, dafs der Punkt beide Male gleich weit von
732 der linken Linie entfernt ist, die rechte Linie aber ungleich weit. Dabei tritt durch eine Art Contrastwirkung der Punkt, der in der Ebene des Papiers erscheinen sollte, vor dieselbe hinaus, als wäre er im rechten Bilde der linken Linie etwas näher, im linken ferner.

Die Verschmelzung kann auch erfolgen zwischen Punkten, die etwas verschiedene Höhe über oder unter dem Netzhauthorizonte haben, z. B. wenn man die beiden Linienpaare der *Fig. F, Taf. IV* zum Decken bringt, von denen das linke 3, das rechte 3,7 Millimeter Abstand hat. Bei der Betrachtung reeller Objecte findet dieser Fall seine Analogie, wenn man zwei Horizontallinien, die seitlich von der Medianebene gelegen sind, vor Augen hat. Diese sind dann dem einen Auge näher als dem anderen, und ihr Abstand erscheint ersterem gröfser als letzterem. Aber die Unterschiede in den verticalen Abständen, welche bei der Betrachtung reeller Objecte vorkommen, pflegen verhältnifsmäfsig klein zu sein gegen diejenigen, welche zwischen den horizontalen Abständen vorkommen. Damit scheint es zusammenzuhängen, dafs nur solche Bilder verschmelzen, deren verticale Dimensionen sehr geringe Verschiedenheit haben. Auch löst sich die Verschmelzung dieser Linienpaare *F* sowohl, als auch selbst solcher, deren Abstände noch viel weniger verschieden sind, ziemlich bald bei anhaltender fester Fixirung.

Es ist ferner hervorzuheben, dafs nicht blofs auf den seitlich von der Netzhautgrube gelegenen Theilen der Netzhäute disparate Bilder verschmelzen können, sondern selbst solche, die dicht bei und auf dem Centrum der Netzhautgrube liegen. Wenn ich die beiden Kreuze der *Fig. L, Taf. V* zum Decken bringe und den Mittelpunkt des Gesammtbildes fixire, müssen die beiden nach rechts von den Kreuzen gelegenen Verticallinien in eine scheinbar continuirlich fortlaufende Linie verschmelzen. Das ist auch der Fall, wenn ich sehr sorgfältig und genau die Mitte des Kreuzes fixire, aber durchaus nicht immer, wenn ich auf das Fixiren nicht besonders achte; sondern bald scheint die obere, bald die untere Verticallinie weiter vom Kreuze entfernt zu sein, so dafs der gegenseitige Abstand der beiden halben Verticallinien wohl bis zu einem Millimeter oder selbst mehr beträgt, ohne dafs dabei erkennbare Doppelbilder der Verticalen des Kreuzes auftreten. Betrachte ich zuerst das Blatt selbst, also in Convergenzstellung, und treibe nun die Augen aus einander, bis die Kreuze auf einander fallen, so bleibt der obere Theil der seitlichen Verticalen, der dem rechten Bilde angehört, gewöhnlich der entferntere. Es bleibt also etwas zu viel Convergenz der Augenstellung bestehen. Aber ich kann absichtlich auch die Augen noch etwas weiter aus einander treiben (was für mich immer noch Convergenzstellung ist, da der Abstand meiner Augen 66 Millimeter und der der Zeichnungen nur 63,5 beträgt); dann tritt die obere Hälfte der Verticallinie dem Kreuze näher als die untere. In diesem Falle verrathen die Schwankungen der leicht vergleichbaren seitlichen Verticallinien, dafs Schwankungen der Augenstellung da sind, die sich nicht durch Doppelbilder der scheinbar fixirten Verticallinie des Kreuzes verrathen. Es ist dies ein Umstand, der bei Versuchen über Doppelbilder wohl zu beachten ist. Man darf nicht glauben, dafs bei gewöhnlicher, nicht sehr genauer Fixation eines Punktes dieser immer auf genau correspondirenden Punkten der Netzhautcentren 733

abgebildet ist. So finde ich auch, dafs ich die Figuren *E* und *F* immer so fixire, dafs das engere Linienpaar ganz innerhalb des weiteren fällt. Um dies zu sehen, brauche ich nur von einem Ende her die Hälfte des einen Linienpaars mit einem weifsen Blatte zu verdecken,

Ich hatte eine ähnliche Figur wie *L* erst gebrauchen wollen, um die Gröfse der correspondirenden Strecken auf der Horizontallinie zu bestimmen, fand sie aber für mich dazu ganz unbrauchbar, weil die Verticale des Kreuzes mir auch bei ziemlich grofsen Verschiebungen der seitlichen Verticalen immer noch einfach erschien. Dagegen gelang der Versuch viel besser, wenn ich auch von der Verticale des Kreuzes in der einen Figur die obere, in der andern die untere Hälfte wegliefs.

Es kann auch eine Verticale des einen Bildes mit zwei ihr nahehin correspondirenden des andern verschmelzen. In *Fig. T, Taf. VII* sind links zwei, rechts drei Linien. Bringt man die rechts liegende Linie beider Gruppen zum genauen Decken, so fällt das Bild der einen linken Linie der linken Gruppe mitten zwischen die beiden linken Linien der rechten Gruppe hinein und verschmilzt mit diesen. Es entsteht dabei der Eindruck eines Gesammtbildes von drei Linien, deren äufserste linke dem Beobachter näher, die dicht daneben liegende zweite dem Beobachter ferner ist, als die rechte Linie. Die drei Linien scheinen ein rechtwinkeliges Prisma zu begrenzen; sie sind auch der richtige optische Ausdruck eines solchen, dessen eine Fläche verlängert durch das linke Auge des Beobachters geht. Um zu erkennen, wo das Bild der einfachen linken Linie liegt, ist deren Mitte mit einem stärkeren Punkte bezeichnet. Fixire ich die rechte Linie des Gesammtbildes, so fällt dieser Punkt bald auf die eine, bald auf die andere Linie des entsprechenden Linienpaares, bald mitten hinein. Das verräth Schwankungen der Convergenz.

So kann auch ein Kreis mit einem anderen verschmelzen, der etwas gröfser oder etwas kleiner ist, wie die Kreise der *Fig. R, Taf. VII.* Es entspricht das dem reellen Falle, wo der Beobachter einen seitlich von seiner Medianebene gelegenen Kreis (oder Kugel) betrachtet, der dem einen Auge näher ist, als dem anderen. Dabei sind die vertical verlaufenden Theile beider Kreise leicht und ziemlich dauernd zu verschmelzen, die horizontal verlaufenden Bogenstücke trennen sich dagegen leicht, wenn der Unterschied der Radien beider Kreise nicht relativ sehr klein ist. Der Fixationspunkt ist dabei im Centrum des Gesammtbildes angenommen. Zu beachten ist bei diesem Versuche, dafs ich mich dabei ertappte, wie ich, ohne es zu wissen, den Kopf nach der Seite des gröfseren Kreises hingewendet hatte, wodurch die scheinbare Gröfse beider Kreise nahehin gleich wurde. Da gelang natürlich die Verschmelzung sehr viel vollständiger. Wenn man dagegen einen Kreis mit zwei anderen zu verschmelzen sucht, von denen der eine etwas kleiner, der andere etwas gröfser ist, als jener, wie in *Fig. S, Taf. VII,* so findet die Verschmelzung an den nahe senkrecht verlaufenden Theilen der Kreise allerdings statt, und zwar meist so, dafs der einfache Kreis an

einer Seite mit dem gröfseren, an der anderen Seite mit dem kleineren zusammenfällt. Oben und unten dagegen trennen sich die Kreise und man 734
sieht Bogen des einfachen Kreises vom grofsen zum kleinen hinüberlaufen. Man sieht also im Gesammtbilde zwei Kreise, zwischen denen oben und unten allerdings in einer gewissen verwirrten und nicht recht deutlichen Weise noch je ein verbindender Bogen herüberläuft. Der innere Kreis erscheint rechts hinter, links vor dem äufseren zu liegen, vermöge einer ähnlichen stereoskopischen Wirkung wie bei den Verticalen der *Fig. T, Taf. VII.* Auch hier tritt die Verschmelzung ein, soweit in den combinirten Zeichnungen eine Ähnlichkeit mit reellen Objecten gefunden werden kann; wo diese fehlt, trennen sie sich.

Volkmann[1] hat eine Reihe von Messungen angestellt über die Grenzwerthe der Differenzen, die beim stereoskopischen Sehen noch verschwinden können. Er blickte mittels eines Stereoskops nach zwei Paaren von je zwei schwarzen Linien auf weifsem Grunde, die wir *a b* und *c d* nennen wollen. Eine dieser Linien *d* war ein Menschenhaar, in einem Schieber ausgespannt und mit diesem verschiebbar. Der Schieber wurde anfänglich so gestellt, dafs die Linie *a* mit *c* und *b* mit *d* sich stereoskopisch vereinigte, dann wurde die bewegliche Linie *d* ihrer Nachbarin *c* so lange entweder genähert oder von ihr entfernt, bis sie sich von der mit ihr stereoskopisch vereinigten Linie *b* des andern Paares trennte. Der durch die Linsen des Stereoskops veränderte Gesichtswinkel war so grofs, als würden die Linien aus 150 Millimeter Distanz betrachtet.

Wenn auch der Beobachter bei diesen Versuchen die Aufgabe hatte, die eine Linie des Gesammtbildes fest zu fixiren, so glaube ich nach meinen oben beschriebenen Erfahrungen doch annehmen zu dürfen, dafs er in Wahrheit die Augen so gestellt hat, dafs beide Linien in nahe gleich weit von einander entfernten Doppelbildern gesehen worden wären, falls er die letzteren hätte unterscheiden können, so dafs die wahren Abstände der verschmelzenden Doppelbilder nur etwa halb so grofs, oder etwas mehr als halb so grofs sein möchten, als die Differenzen der beiden verglichenen Abstände.

Ich lasse hier (Anfang der folgenden Seite) eine Übersicht von Volkmann's Resultaten folgen, deren jedes einzelne das Mittel aus 15 Beobachtungen ist. Die Werthe der Distanz *c d* sind die äufsersten, welche mit *a b* zu vereinigen waren, die Längen sind in Millimetern angegeben.

Es zeigt sich in diesen Beobachtungen eine beträchtliche individuelle 735
Verschiedenheit für verschiedene Beobachter, und auch bei demselben Beobachter für verschiedene Grade der Übung.

Für Herrn Volkmann selbst wurden nämlich, wie die Zahlen ergeben, die Doppelbilder eher sichtbar, nachdem er zwei Monate lang ähnliche Versuche fortdauernd angestellt hatte. Dafs für ihn überhaupt die Doppelbilder

[1] A. W. Volkmann, *Archiv für Ophthalmologie.* V, 2, S 32—59.

| Nr. | Beobachter | *ab* | *cd* | *ab — cd* | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | VOLKMANN | 5,3 | 3,46<br>7,57 | + 1,84<br>— 2,27 | Linien vertical |
| 2 | „ | 5,3 | 4,52<br>6,62 | + 0,78<br>— 1,32 | ebenso, zwei Mo<br>später |
| 3 | „ | 1,5 | 0,91<br>3,25 | + 0,59<br>— 1,75 | ebenso |
| 4 | „ | 8,0 | 5,91<br>10,99 | + 2,09<br>— 2,99 | ebenso |
| 5 | „ | 5,3 | 4,88<br>6,05 | + 0,42<br>— 0,75 | Linien horizonta |
| 6 | „ | 1,5 | 1,15<br>1,97 | + 0,45<br>— 0,47 | ebenso |
| 7 | „ | 8,3 | 7,26<br>9,01 | + 1,04<br>— 0,71 | ebenso |
| 8 | SOLGER | 5,3 | 2,13<br>10,00 | + 3,17<br>— 4,70 | Linien vertical |
| 9 | „ | 5,3 | 4,66<br>5,91 | + 0,64<br>— 0,61 | Linien horizonta |
| 10 | KRAUSE | 5,3 | 3,21<br>8,48 | + 2,09<br>— 3,18 | Linien vertical |
| 11 | „ | 5,3 | 4,92<br>5,86 | + 0,38<br>— 0,56 | Linien horizonta |

bei kleineren Unterschieden der Bilder schon sichtbar wurden, als fü beiden anderen Beobachter, mag sich ebenfalls daraus erklären, dafs er Anfang in physiologisch-optischen Beobachtungen viel geübter war; doc auch wohl anzunehmen, dafs überhaupt die Geschicklichkeit im Augenn bei verschiedenen Anwendungen desselben beträchtliche individuelle schiedenheiten zeigen wird. Die Zahlen zeigen ferner, dafs, wie schon erwähnt worden ist, verticale Abweichungen in den beiden Gesichtsfel zwischen horizontalen Linien viel leichter erkannt werden, als horizon die letzteren zeigen auch eine geringere Breite individueller Abweich Wenn man dabei berücksichtigt, dafs wahrscheinlich nur die halbe Breit angegebenen Differenzen zu nehmen ist, dafs davon noch die Breite der Li selbst mit etwa $^1/_{10}$ Millimeter abgeht, dafs endlich der kleinste sicht Abstand in 150 Millimeter Entfernung etwa $^1/_{20}$ Millimeter beträgt, so b bei einigen von den Versuchen an den Horizontallinien für die Verschmel in der That wenig Breite übrig. Andere Versuchsreihen von VOLKM zeigen, dafs überhaupt bei wachsendem Winkel zwischen den Linienpa und der Verticallinie die zu verschmelzenden Unterschiede ihrer Abst

continuirlich kleiner werden und ihr Minimum bei horizontaler Richtung zeigen.

Weiter suchte VOLKMANN auch die gröfsten Unterschiede der Richtung je zweier Linien auf, welche die stereoskopische Vereinigung derselben noch zuliefsen. Beide Linien waren als Durchmesser auf drehbaren Scheiben gezogen, wurden erst mit einander parallel gestellt unter dem in der Tabelle bemerkten Winkel gegen die Verticale. Dann wurde die rechte Scheibe so weit bald nach rechts, bald nach links gedreht, bis die stereoskopische Vereinigung aufhörte, die Differenz in der Richtung beider Linien ist dann als Winkelabstand angegeben. Die Zahlen sind Mittelwerthe aus je 20 (VOLK- 736
MANN) oder 30 (SOLGER) Beobachtungen; die Länge der Linien ist mit $D$ bezeichnet.

| Winkel mit der Verticale | Winkelabstand | | |
|---|---|---|---|
| | VOLKMANN | | SOLGER |
| | $D = 60$ Mm. | $D = 20$ Mm. | $D = 60$ Mm. |
| 0° | 5,5° | 7,4° | 17,5° |
| 10° | 5,1° | 6,9° | 15,5° |
| 20° | 4,4° | 6,1° | 14,0° |
| 30° | 3,8° | 5,8° | 11,5° |
| 40° | 3,7° | 5,3° | 10,2° |
| 50° | 3,4° | 4,4° | 8,9° |
| 60° | 2,7° | 4,1° | 6,2° |
| 70° | 2,4° | 3,3° | 4,5° |
| 80° | 1,9° | 2,8° | 3,9° |
| 90° | 1,5° | 2,1° | 2,9° |

Es geht daraus hervor, wie nahehin verticale Linien bei viel gröfseren Unterschieden ihrer Richtung mit einander verschmelzen, als nahehin horizontale, und dafs auch hier beträchtliche individuelle Unterschiede vorkommen. Kürzere Linien verschmelzen leichter als längere.

WHEATSTONE, der Erfinder des Stereoskops, schlofs aus seinen Versuchen, dafs ebenso, wie disparate Bilder bei der stereoskopischen Projection in eines vereinigt werden könnten, so auch correspondirende Punkte zweier Netzhautbilder an zwei verschiedene Stellen des Raums verlegt und also doppelt gesehen werden könnten. Diese Folgerung ist vielfach bestritten worden. Wenn man sie aber nur in ihrem richtigen Sinne und ihrer nothwendigen Beschränkung auffafst, wird sie nicht wohl geleugnet werden können. Denn wenn einmal zugegeben wird, dafs unter gewissen Umständen und in gewissem Sinne disparate Bilder einfach gesehen werden, so folgt nothwendig, dafs unter denselben Umständen und in demselben Sinne auch correspondirende Bilder doppelt gesehen werden müssen. Es seien $AC$ und $BD$ *Fig. 251* (S. 886) zwei Flächen, $A$ und $B$ grün, $C$ und $D$ roth. Sie mögen irgend welchen stereoskopischen Bildern angehören und für den Beschauer sich vereinigen in das einfache Bild einer gegen ihn geneigten Fläche, 737
wobei die Linie $ab$ sich mit der Linie $cd$ vereinigt, obgleich diese Linien

in ihrer Richtung nicht genau correspondiren. Die fixirten Punkte beider Zeichnungen mögen *f* und *g* sein und senkrecht über diesen die beiden correspondirenden Punkte *h* und *i* liegen. Die letzteren werden auf verschiedenen Seiten von *ab* und *cd* liegen können, weil diese Linien der Annahme nach nicht correspondirende sind. In der Figur sind die Punkte durch Kreuzchen bezeichnet, aber nur um ihre Lage anzudeuten; es wird angenommen, dafs sie sich in den stereoskopischen Bildern von dem Grunde, auf dem sie liegen, durch nichts auszeichnen. Dann wird in dem gemeinsamen Bilde der scheinbar wahrgenommenen geneigten Fläche alles Grün links, alles Roth rechts von der binocular gesehenen Grenzlinie beider Flächen gesehen, also auch nothwendig der im Grün liegende Punkt *h* links, der im Roth liegende correspondirende Punkt *i* rechts von der Grenzlinie beider Farben. Die Ordnung der Punkte in jedem einzelnen Sehfelde wird offenbar durch den gemeinschaftlichen Sehact nicht umgeändert werden

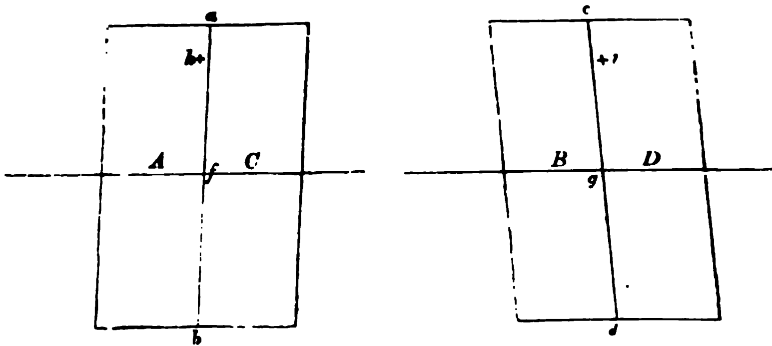



Fig. 251.

können. Die beiden Punkte *h* und *i* werden dann also auf zwei verschiedenen Punkten der scheinbar vorhandenen geneigten Fläche localisirt, nicht aber auf zwei Punkte des Sehfelds; denn auf dieses wird hierbei überhaupt nicht geachtet. Aber natürlich wird das eben nur so lange geschehen, als unter dem Einflufs des körperlichen Anschauungsbildes eine genaue Vergleichung der relativen Lage von *ab* und *cd* zu den Netzhauthorizonten verhindert wird. Sobald wir unsere Aufmerksamkeit von dem scheinbar vorhandenen körperlichen Objecte ab und der Form der Bilder im Sehfelde zulenken, wird es uns bei hinreichender Übung vielleicht gelingen, die Linien *ac* und *cd* von einander getrennt zu sehen, zwischen ihnen einen Streifen, auf dem sowohl Grün wie Roth liegt, und hier das Grün des Punktes *h* mit dem Roth des Punktes *i* zusammenfallend.

Ich bemerke hierbei noch, dafs von den Vertheidigern der angeborenen Identität der Netzhautstellen angenommen wird, durch den sogenannten Wettstreit der Sehfelder würden in einem solchen Falle die Theile des andern Bildes, welche den Grenzen der farbigen Flächen entsprächen, ausgelöscht

Unmittelbar neben jeder Contour würde das Grün und Roth, was ihr anliegt, den correspondirenden gleichfarbigen rothen oder grünen Grund unterdrücken. Aber auch dies zugegeben, so würde doch die Lage der Punkte *h* und *i* so gewählt werden können, dafs auf ihnen Gleichgewicht des Wettstreits stattfände, und dann würden alle unsere Einwände wieder gelten.

Die Punkte *h* und *i* dürfen übrigens nicht gleichartig bezeichnet sein in der Zeichnung, weil sie sonst die Vorstellung eines Objects, welches hinter der vereinigten Linie *ab*—*cd* läge, hervorbringen würden; dann würde also in der Raumanschauung das neben einander Liegen der Punkte und Linien nicht in Betracht kommen.

Will man solche Deckpunkte, deren Bilder getrennt erscheinen sollen, bezeichnen, so mufs man sie verschieden bezeichnen. Hierfür hat Wheatstone einen viel besprochenen Versuch vorgeschlagen, bei dem in dem einen Sehfelde eine starke schwarze Linie, in dem andern mit ihr correspondirend eine ganz feine steht. Diese wird aber unter einem kleinen Winkel von einer andern starken gekreuzt, und bei stereoskopischen Com- 738
binationen vereinigen sich scheinbar die beiden starken Linien zu einer gegen die Papierfläche geneigten Linie, während die schwache daneben in der Papierfläche erscheint. In Wheatstone's Figur sind nun allerdings die Neigungsunterschiede der beiden zu vereinigenden Linien so grofs, dafs die meisten Beobachter sie leicht in Doppelbildern sehen werden, wie dies auch von verschiedenen Seiten hervorgehoben ist. Wheatstone selbst gehört offenbar zu denjenigen Beobachtern, die sehr weit getrennte Doppelbilder noch übersehen können, und es mufs jeder Beobachter die Neigungsunterschiede der zu vereinigenden Linien seinen Augen anpassen. Ich finde die Wirkung noch sicherer, wenn man jederseits eine starke und eine schwache Linie zieht, die sich unter einem Winkel kreuzen, so dafs eine starke der schwachen der andern Seite correspondirt, wie dies in *M*, *Taf. V*, für meine Augen passend geschehen ist. Für Beobachter mit anderer Divergenz der scheinbar verticalen Meridiane würde freilich eine etwas andere Stellung der Figuren nöthig sein. In der genannten Figur hier vereinigt sich mir die starke mit der starken, die schwache mit der schwachen Linie, und es gelingt mir in keiner Weise zu sehen, dafs die linke starke sich mit der rechten schwachen deckt. Nur wenn ich durch veränderte Divergenz der Augen die Bilder aus einander schiebe, sehe ich, dafs die genannten beiden Linien einander vollkommen parallel erscheinen. Man mufs auch nicht glauben, dafs eines der Bilder beim Beschauen ganz verschwände und übersehen würde; dann könnte keine stereoskopische Wirkung da sein. Es erscheint aber das gekreuzte Linienpaar deutlich mit dem oberen Ende dem Beschauer genähert, wenn man seine Lage mit den daneben gezogenen dünnen Verticallinien vergleicht. Eine solche stereoskopische Wirkung würde nicht eintreten können, wenn die rechte dünne Linie gar nicht gesehen würde.

Eine ähnliche Wirkung erhält man von der *Fig. N*, *Taf. V*, wo die

beiden äufseren Grenzlinien der oberen Hälfte des schwarzen Streifens correspondiren, und ebenso ihre Fortsetzungen, die inneren Grenzlinien, der unteren Hälfte. Im Gesammtbilde sieht man einen schwarzen Streifen, und an diesem erscheinen die beiden Grenzlinien, die sich correspondiren, an entgegengesetzten Seiten. Auch in dieser Figur wird die Neigung der schwarzen Dreiecke von solchen Beobachtern, die eine andere Divergenz der verticalen Meridiane haben, etwas geändert werden müssen.

In den Beispielen *M* und *N* werden es die meisten Beobachter unmöglich finden, zu sehen, dafs die sich scheinbar vereinigenden Linien im gemeinsamen Gesichtsfelde sich wirklich nicht decken, und dafs im Gegentheil die rechte dünne und linke dicke Linie der Figur *M*, die entgegengesetzten Ränder der Streifen in *N* aufeinanderfallen. Ich will indessen nicht leugnen, dafs bei einem in der Beobachtung von Doppelbildern recht geübten Beschauer die Beobachtung gelingen könnte. Ich selbst bemerke wohl mitunter bei recht scharfer Fixirung der Mittelpunkte, dafs ich die betreffenden Linien nicht eigentlich einfach sehe, aber ohne die Doppelbilder bestimmt trennen zu können. Noch leichter trennt man sie, wenn man, wie W. v. Bezold, die Figuren mit Tusche auf einer Glasplatte ausführt, so dafs man
739 bei plötzlich geänderter Beleuchtung die eine hell auf dunklem Grunde, die andere dunkel auf hellem Grunde sehen kann. Dann schwindet das Streben zur Verschmelzung, und man erkennt leicht die disparate Lage der Bilder. Ich will hier nur hervorheben, und nur das kann ich als den wahren Sinn des Wheatstone'schen Versuchs betrachten, dafs, so lange man in die körperliche Anschauung versenkt bleibt, selbst bei festgehaltenem Fixationspunkte, die Eindrücke correspondirender Punkte benutzt werden, um differente Theile des körperlichen Gesammtbildes auszufüllen. Wenn man sich unter Umstände versetzt, welche einen Irrthum in der Vergleichung der zwei verschiedenen Bilder beider Sehfelder möglichst begünstigen, werden Bilder disparater Punkte vereinigt und Bilder correspondirender Punkte getrennt. Das erstere kann, wie gezeigt wurde, sogar nicht ohne das andere vor sich gehen; das zweite ist eine logische Folge des ersten. Daraus folgt aber nicht, wenn man die Art der Beobachtung passend verändert, um die Vergleichung der Bilder beider Sehfelder möglichst ungestört vollziehen zu können, und sich die Bilder disparater Punkte in Folge dessen trennen, dafs dann die Bilder correspondirender Punkte sich nicht wieder vereinigen sollten.

Hinzuzufügen ist noch, dafs auch bei der Beleuchtung durch den elektrischen Funken die stereoskopische Combination der letzt beschriebenen Figuren *M* und *N* ganz vollkommen eintritt, und dafs man dabei keine Spur von den Doppelbildern sieht, die im gemeinsamen Sehfelde erscheinen sollten, wenn die Bilder correspondirender Punkte einfach auf einander gelegt würden. Die Wirkung ist also durchaus nicht von Augenbewegungen abhängig.

Wir haben noch einige andere Umstände zu besprechen, die bei der Verschmelzung von zwei verschiedenen Netzhautbildern zu berücksichtigen sind.

Erstens ist zu bemerken, dafs, so lange stereoskopische Tiefenwahrnehmung da ist, nicht, wie einige Anhänger der angeblichen Identität der Netzhäute angenommen haben, das eine der beiden Doppelbilder etwa deshalb verschwindet, weil es vollständig übersehen wird und gar nicht zur Empfindung kommt. Wenn letzteres der Fall wäre, würde keine binoculare Tiefenwahrnehmung stattfinden können, die eben nur auf der Verschiedenheit der Bilder und auf der Perception dieser Verschiedenheit beruht. Ja, die sehr grofse Genauigkeit der Tiefenwahrnehmung zeigt sogar, dafs die Verschiedenheit der Bilder auch mit grofser Genauigkeit wahrgenommen wird, freilich nicht als eine Verschiedenheit in der Ausfüllung der Sehfelder, sondern nur als sinnlicher Ausdruck der verschiedenen Entfernung der Objectpunkte. Wo keine Tiefenwahrnehmung zu Stande kommt, da kommt es allerdings vor, dafs einzelne Theile der Bilder zeitweise oder ganz verlöschen; wir werden diese Fälle im nächsten Paragraphen genauer zu besprechen haben.

Zweitens ist noch der Einflufs der Augenbewegungen auf die Verschmelzung der Doppelbilder zu besprechen. In dieser Beziehung hat E. Bruecke die Meinung aufgestellt, dafs wir eine Wahrnehmung der Tiefendimensionen des Objects nur dadurch bekommen, dafs wir fortdauernd mit den Blicklinien an den verschiedenen Contouren des gesehenen Objects entlang laufen und hierbei nach einander alle einzelnen Punkte dieser Contouren auf den identischen Centren der Netzhautgrube abgebildet erhalten. Da nun unsere Aufmerksamkeit der Regel nach auf die Bilder der am genauesten sehenden Stelle 740 der Netzhaut concentrirt ist, so konnte mit Grund die Frage aufgeworfen werden, ob nicht deshalb die Doppelbilder der übrigen Theile des Objects übersehen werden, weil für gewöhnlich die am genauesten gesehenen und unsere Aufmerksamkeit am meisten fesselnden Theile der Bilder correspondirende sind. Es ist dieser Ansicht von Bruecke gegenüber zuzugeben, dafs in der That die darin betonten Momente von grofsem Gewicht für die Gewinnung vollständiger Tiefenanschauungen sind, und dafs die von ihm gegebene Beschreibung der Art, wie sie entstehen, den Verhältnissen des gewöhnlichen unbefangenen Sehens vollkommen entspricht. Eine Vereinigung von sehr differenten Bildern gelingt in der That nur mittels der Augenbewegungen, indem man nach einander die einzelnen Theile der Bilder einfach sieht und die Aufmerksamkeit ihren natürlichen Gang gehen läfst, wobei sie immer auf diejenigen Theile vorzugsweise gerichtet ist, welche fixirt werden. Auch wird durch dieses Herumführen des Blicks die Tiefenanschauung entschieden genauer und lebendiger, als bei Fixation eines Punktes, was ich daraus erklären möchte, dafs nur die Tiefenunterschiede derjenigen Bildpunkte genau erkannt werden, die dem jedesmaligen Horopter sehr nahe liegen. Dadurch also, dafs man die Convergenz wechseln läfst und nach einander alle Punkte des wirklichen oder scheinbaren Objects in den Horopter oder ihm mindestens sehr nahe bringt, erhält man nach einander eine genaue Anschauung aller Tiefenunterschiede. Fixirt man den Blick längere Zeit

auf einen Punkt, so treten im Gegentheil die Doppelbilder leichter hervor und die Tiefenunterschiede namentlich derjenigen Punkte, welche in sehr disparaten Doppelbildern erscheinen, werden undeutlich. Ja, die Doppelbilder, welche man durch sehr anhaltende strenge Fixation eines Punktes nicht von einander lösen kann, liegen so nahe an der Grenze der Unterscheidungsfähigkeit der Augen, dafs ich glaube annehmen zu dürfen, dafs sie nur wegen der unvermeidbaren kleinen Augenbewegungen nicht auch aufgelöst werden. Indessen war die von BRUECKE aufgestellte Theorie etwas zu ausschliefslich, wenn er meinte, dafs alle Tiefenwahrnehmungen nur durch Augenbewegungen gewonnen und alle Doppelbilder nur durch successives Einfachsehen der einzelnen Punkte beseitigt werden könnten. Es wurde nämlich von DOVE gezeigt, dafs auch bei instantaner Beleuchtung durch einen elektrischen Funken stereoskopische Effecte erhalten und Doppelbilder verschmolzen werden können. Es kann dazu der auf Seite 710 beschriebene Apparat gebraucht werden. Nur mufs man dafür sorgen, dafs im Momente der elektrischen Beleuchtung die beiden Blicklinien auf correspondirende Theile des Bildes gerichtet seien. Zu dem Ende pflege ich zwei feine Nadelstiche durch correspondirende Punkte der zu vereinigenden Zeichnungen zu machen. Die Wand des dunkeln Kastens, in welchem das Bild angeheftet wird, ist hinter diesen Nadelstichen selbst durchbohrt und das Zimmer nicht ganz verdunkelt, so dafs der Beobachter die beiden Nadelstiche mittels des schwachen hindurchfallenden Lichtes sehen kann. Er richtet auf sie die Blicklinien, so dafs ihre Bilder im gemeinschaftlichen Sehfelde sich decken, und dann läfst er den Funken überschlagen. Dabei geben stereoskopische Zeichnungen von nicht zu grofsen Differenzen, wie *E*, *M* und *N*, *Taf. IV*
741 und *V*, ganz deutliche und lebendige Tiefenanschauung ohne wahrnehmbare Doppelbilder; solche von gröfseren Differenzen, wie *H*, zerfallen aber in einzelne Linien und geben keine Tiefenanschauung. Auch alle über einander stehenden Horizontallinien, wie in *F*, trennen sich auffallend leicht. Hat man dabei einfache Zeichnungen von wenigen Linien vor sich, so übersieht man bei der instantanen Beleuchtung das Ganze auf einmal. Hat man dagegen complicirte stereoskopische Photographien vor sich mit vielen Einzelheiten, so gewinnt man nur von einem gewissen Theile des Ganzen einen deutlichen Eindruck und braucht mehrere Funken, um nach einander das Ganze zu übersehen. Dabei ist es sonderbar, dafs während man die beiden Nadelstiche fest fixirt und in Deckung erhält, man willkürlich vor dem Funken die Aufmerksamkeit auf eine beliebige Stelle des dunklen Gesichtsfeldes richten kann, und dann während des Funkens einen Eindruck nur von den Objecten erhält, die in dieser Gegend des Sehfeldes erscheinen. Es ist in dieser Beziehung die Aufmerksamkeit ganz unabhängig von der Stellung und Accommodation des Auges, überhaupt von irgend einer der bekannten Veränderungen in und an diesem Organe, und demgemäfs kann sie mit einer selbstbewufsten und willkürlichen Anstrengung auf eine bestimmte Stelle in dem absolut dunklen und unterschiedslosen Gesichtsfelde hingerichtet

werden. Es ist dies einer der auffallendsten Versuche für eine künftige Theorie der Aufmerksamkeit.

Die Versuche mit momentaner Beleuchtung sind auch noch insofern für die Rolle, welche die Aufmerksamkeit bei den Doppelbildern spielt, interessant, als es bei solchen Bildern, die wie *J* ohne grofse Anstrengung sowohl stereoskopisch einfach, als auch mit geringer Mühe als Doppelbilder gesehen werden können, leicht gelingt, beides auch beim Lichte des elektrischen Funkens zu sehen. Der erste Eindruck ist gewöhnlich der stereoskopisch einfache; wenn man aber in Pausen von etwa 10 Secunden, in denen die Nachbilder vollständig erlöschen können, die Beobachtung wiederholt, so fängt man an die Doppelbilder zu sehen, trotzdem man immer denselben Punkt fixirt und jede nachfolgende Lichteinwirkung der ersten absolut gleich ist. Ja, selbst bei solchen Figuren, wie *M*, wo es mir relativ schwer wird die Doppelbilder zu sehen, kann ich sie auch bei instantaner elektrischer Beleuchtung endlich sehen, wenn ich mir vorher lebhaft vorzustellen suche, wie sie aussehen müssen. Der Einflufs der Aufmerksamkeit ist hier reiner zu beobachten, weil jede Einwirkung der Augenbewegungen ausgeschlossen ist. Die gleichen Versuche können auch mit Volkmann's schon oben beschriebenem Tachistoskop ausgeführt werden.

Ferner ist zu bemerken, dafs es verschiedenen zuverlässigen Beobachtern, wie Wheatstone[1], Rogers[2] und Wundt[3], gelungen ist, auch Nachbilder, welche nicht ganz genau correspondirende Lage hatten, zu einer stereoskopischen Tiefenwahrnehmung zu verschmelzen. Rogers hat es sogar möglich gefunden, erst das Nachbild in dem einen, dann im andern Auge zu entwickeln und schliefslich beide Nachbilder stereoskopisch zu combiniren. Dadurch ist der Einflufs, den die vorausgängige Anschauung der wirklichen 742
Bilder auf die Deutung der Nachbilder allenfalls haben könnte, vermieden. An positiven Nachbildern, die ich selbst durch momentanes Anschauen hell beleuchteter Gegenstände entwickelt hatte, habe ich übrigens auch deutliche Tiefenanschauung gehabt.

Auch diese Versuche zeigen, wie die mit dem elektrischen Funken, dafs keine Bewegung der Augen nöthig ist, um Tiefenwahrnehmung zu vermitteln, denn bei jeder Bewegung verschieben sich die Nachbilder mit dem Auge und durch keine Augenbewegung können disparate Bilder zu correspondirenden gemacht werden. Übrigens gelingen die Versuche mit den Nachbildern schwer; diese müssen sehr scharf entwickelt sein, und selbst wenn sie es sind, besteht immer eine Neigung, sie auf die Fläche des reellen Hintergrunds, den man anschaut, zu projiciren und als blofse Flecke auf dessen Oberfläche anzusehen.

Panum hat die Regel für das Verschmelzen der Doppelbilder in der Weise ausgesprochen, dafs einander ähnliche Contouren, welche auf nahehin

---

[1] Wheatstone, *Phil. Transact.* 1838. T. II, p. 392—393.
[2] Rogers, *Silliman's Journal* (2) XXX, November 1860
[3] Wundt, *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* S. 286—287

correspondirenden Netzhautpunkten sich abbilden, mit einander verschmelzen sollen. Er bezeichnet dabei den Umfang derjenigen Punkte der andern Netzhaut, welche mit ein und demselben Punkte der ersten Netzhaut verschmelzen können, als den correspondirenden Empfindungskreis jenes Punktes. Diesen Empfindungskreisen schreibt er nach Maafsgabe der oben erörterten Thatsachen einen gröfseren horizontalen Durchmesser, einen kleineren verticalen zu. Ich habe dagegen in der hier gegebenen Darstellung das Verschmelzen der Doppelbilder davon abhängig gemacht, dafs die Sicherheit und Genauigkeit der Abmessungen des Augenmaafses für die entsprechenden Dimensionen beider Bilder nicht grofs genug sei, um nicht Irrthümer zu erlauben, und dafs ein solcher Irrthum begünstigt werde durch die Anschauung des einen körperlich ausgedehnten Objects, welches man vor sich hat oder vor sich zu haben glaubt. Es hat schon VOLKMANN gegen PANUM's Fassung des Gesetzes solche Fälle, wie *G*, *Taf. IV*, geltend gemacht, wo durch Zusetzung eines Punktes oder anderer kleiner Incongruenzen beider Bilder die Verschmelzung gestört wird. PANUM hat dawider entgegnet, dafs in diesen Fällen immer eine Unähnlichkeit der Contouren auftrete, welche auch nach seiner Fassung des Gesetzes die Verschmelzung hindern müfste. Gegen andere Versuche von VOLKMANN, aus denen hervorgeht, dafs Linienpaare von kleinem Abstande bei gleicher Differenz des Abstandes nicht so leicht verschmelzen, als solche von gröfseren Abständen, hat er die Antwort gegeben, dafs eng an einander stehende Linien sich bei der Fixation ganz nahe am Centrum der Netzhaut abbilden, und dafs dort die correspondirenden Empfindungskreise kleiner seien und deshalb die Doppelbilder nicht verschmelzen könnten. VOLKMANN's letzterwähnte Beobachtung können wir aber in folgender Weise wiederholen. In *Fig. U*, *Taf. VII*, sind jederseits 5 Linien gezeichnet; die Paare 1 und 3, sowie 4 und 5 haben in der linken Gruppe den Abstand von 4 Millimeter, in der rechten von 5 Millimeter. In das Innere des Paares 1—3 ist jederseits noch die Linie 2 hineingesetzt worden, welche beiderseits von 1 den gleichen Abstand von 3 Millimeter hat und daher von der Linie 3 links nur 1, rechts aber 2 Millimeter absteht. Fixirt man nun die Linie 4 des Gesammtbildes, so erscheint 5 einfach und
743 etwas nach hinten liegend. Fixirt man dagegen fest und sicher 1, so erscheinen die beiden Linien 3 von einander getrennt, die Linie 2 dagegen natürlich einfach und mit 1 in gleichem Tiefenabstande. Nur bei Bewegungen des Blicks kann man auch 3 einfach sehen, wobei dann die ganze Gruppe als ein vierkantiges senkrechtes Prisma erscheint, auf dessen vorderer Fläche noch eine Linie, nämlich 2, parallel mit den Kanten gezogen ist. Nun liegen aber bei der Fixation der Linie 1 des Gesammtbildes die beiden Linien 3 gerade so auf den Netzhäuten, wie bei Fixation von 4 die beiden Linien 5 liegen. Das Hindernifs der Vereinigung besteht offenbar in der Linie 2, die aber nicht zwischen beiden, sondern links von beiden liegt, und nach PANUM's Fassung des Gesetzes die Vereinigung nicht hindern sollte. Fafst man aber die Vereinigung der Doppelbilder als eine Täuschung des Augenmaafses, so

ist aus dem Fechner'schen Gesetze klar, dafs die Unterscheidung zwischen 1 und 2 Millimeter des Abstandes, wie ihn die Linien 2 und 3 haben, sicherer sein mufs, als zwischen 4 und 5 Millimeter bei den Linien 4 und 5.

Auch bei den Versuchen mit Kreisen kommt Ähnliches vor. Wenn man zwei etwas ungleiche Kreise gezeichnet hat, die sich binocular verschmelzen lassen, und man umgiebt beide concentrisch mit einem andern Kreise, der auf beiden Seiten gleichen Radius hat, einen Radius wenig gröfser als der des gröfseren der beiden ersten Kreise, so trennen sich jetzt die Bilder der beiden innern Kreise verhältnifsmäfsig leicht.

Eine Frage endlich, die sich hier anschliefst und die ebenfalls in theoretischer Beziehung Wichtigkeit hat, ist die, ob wir die Eindrücke des einen Auges von denen des andern unterscheiden. In dieser Beziehung ist zu bemerken, dafs wir auch bei instantaner elektrischer Beleuchtung die Tiefenunterschiede stereoskopisch gesehener Liniengruppen immer richtig sehen, niemals verkehrt, und dafs selbst, wenn ich mir möglichst deutlich das umgekehrte Relief der Figur vorzustellen suchte, um mit Absicht eine Täuschung herbeizuführen, was mir bei der Umkehrung des Reliefs von Medaillen bei monocularer Betrachtung meist schnell gelingt, ich es unmöglich fand, das stereoskopische Relief zu ändern[1]. Eine solche Verkehrung des Reliefs würde aber nothwendig eintreten müssen, wenn man den Eindruck der beiden Netzhautbilder verwechseln könnte mit demjenigen Eindrucke, welcher bei Vertauschung der beiden Netzhautbilder unter einander eintreten würde. Daraus folgt also zunächst, dafs der momentane Eindruck, den zwei Netzhautbilder machen, deutlich und bestimmt verschieden sein mufs von demjenigen, welchen dieselben Netzhautbilder machen würden, wenn jedes auf die correspondirenden Punkte des andern Auges übertragen würde.

Etwas anderes ist es, dafs wir für gewöhnlich kein bestimmtes Bewufstsein davon haben, mit welchem Auge wir das eine oder andere Bild sehen. Das wissen wir nicht oder nur unvollkommen und nur durch nebensächliche Umstände zu beurtheilen, wie wir denn aus unseren Sinnesempfindungen nichts herauszulesen wissen, was wir nicht durch oft wiederholte Beobachtungen als ihre Bedeutung kennen gelernt haben. Dafs also zwei nahe an einander stehende Doppelbilder gewisser Art mit gewissen Localzeichen ein 744
Object, welches ferner von uns ist als der Fixationspunkt, und nicht ein näheres bedeuten, können wir vollkommen gelernt haben, ohne doch genügende Übung zu haben, um aus den Localzeichen der Bilder herauszulesen, welches von den beiden Halbbildern dem rechten oder linken Auge angehöre. Um letzteres zu ermitteln, müssen wir erst das eine Auge schliefsen oder verdecken, was wir beim gewöhnlichen Sehen nicht thun, wobei wir, wie oben erwähnt, auf die Doppelbilder ja auch gar nicht zu achten pflegen.

---

[1] Dieselben Beobachtungen von Aubert und Marbach in *Aubert, Physiologie der Netzhaut.* S. 315. Breslau 1865, mit vielfach abgeänderten Figuren. Neuerdings hat auch Donders im Wesentlichen dieselben Resultate erhalten.

Wir wissen deshalb in der Regel auch ohne einen besonders darauf zielenden Versuch nicht anzugeben, welchem Auge das eine, welchem das andere Doppelbild angehört. Auch die Augenbewegungen helfen dabei nicht viel, weil wir bei Convergenzbewegungen — und auf solche käme es hier an — keine deutliche Vorstellung davon haben, nach welcher Richtung sich jedes einzelne Auge verschiebt.

Dagegen sehen wir fortdauernd die am weitesten rechts gelegenen Theile des gemeinsamen Gesichtsfeldes nur mit dem rechten Auge; dem linken werden sie durch die Nase verdeckt; und ebenso sehen wir die ganz links gelegenen Objecte nur mit dem linken Auge, und dem entsprechend urtheilen wir denn leicht, dafs, wenn jene Gegend des Gesichtsfeldes einem Auge ganz verdunkelt ist, wir die gesehenen Objecte mit dem andern Auge sehen. Rogers hat einen Versuch mit auffallendem Erfolge angegeben, der hierher gehört. Man mache aus schwarzem Papier eine Röhre von etwa 2 Zoll Durchmesser, halte sie vor das rechte Auge und sehe damit nach dem Hintergrunde des Zimmers, am besten nach links hinüber, während man gleichzeitig einige Zoll vor dem linken Auge ein Quartblatt schwarzen Papiers hält, welches diesem den gesehenen Theil des Zimmerhintergrundes verdeckt. Dann tritt sehr energisch die Täuschung ein, als sähe man mit dem linken Auge durch eine Öffnung des Papiers nach dem Hintergrunde des Zimmers, während doch das Papier keine Öffnung hat, und nicht das linke, sondern das rechte Auge durch die Öffnung der Röhre blickt.

Übrigens mufs ich doch wiederum bemerken, dafs, wenn ich zwei stereoskopische Photographien vor mir habe, von denen eine einen dunklen oder verwaschenen Fleck hat, ich gewöhnlich den Eindruck habe, als wäre das Auge, womit ich den Fleck sehe, getrübt, und dafs ich unwillkürlich versuche, mit den Lidern dieses Auges die Trübung wegzuwischen, was doch ein Zeichen ist, dafs ich in einem solchen Falle empfinde, in welchem Auge die undeutliche Stelle abgebildet ist.

Was die Richtung betrifft, in der wir die Doppelbilder sehen, so ergiebt sich diese aus dem, was über die Richtung der monocular gesehenen Bilder oben schon gesagt worden ist. Wir sehen das Bild jedes Auges so, als hätte das von E. Hering angenommene imaginäre cyklopische Auge das entsprechende Netzhautbild erhalten, während es nach dem Fixationspunkte hingerichtet ist. Wird also binocular gesehen, so kann man sich beide Netzhautbilder in das imaginäre cyklopische Auge sich gegenseitig deckend eingetragen denken, und dann entsprechend in den Raum projicirt. Ihre Entfernung vom Beobachter wird so weit richtig beurtheilt, als die bei
745 Doppelbildern unvollkommene stereoskopische Tiefenwahrnehmung und die Hilfsmittel der monocularen Beurtheilung der Entfernung dies möglich machen. Aus der angegebenen von E. Hering und J. Towne[1] gemachten Beobachtung

[1] Herr J. Towne hat die wichtigen Beobachtungen über die scheinbaren Sehrichtungen unabhängig von Herrn E. Hering gemacht. Er berichtet mir brieflich, dafs er die Versuche schon im Jahre 1859 gezeigt habe. Seine Publicationen, so weit sie mir bekannt geworden sind, datiren aber erst von 1862 ab.

erklärt sich nun auch, warum die Doppelbilder immer getrennt in den Raum projicirt werden. Würden sie in der richtigen Richtung ihrer Visirlinien projicirt, so würden sie an denjenigen Ort verlegt werden können, wo die betreffenden Visirlinien sich schneiden, und dann einfach erscheinen. In Wahrheit wird aber durch die irrthümliche Beziehung der Sehrichtungen auf ein Centrum in der Mittelebene des Gesichts bewirkt, dafs zwei verschiedene Sehrichtungen vor dem Beobachter im Raume sich nie wieder schneiden können und die in ihrer Richtung projicirten Bildpunkte nothwendig immer getrennt bleiben müssen. Über den vermuthlichen Grund dieses Irrthums ist schon oben gesprochen worden.

Gesetze der correspondirenden Punkte und Linien. Man denke sich zwei Ebenen normal zu den beiden Blicklinien in gleicher Entfernung von deren Kreuzungspunkte. In der einen seien die Coordinaten $x$ und $y$, in der andern ein beliebig gelegtes anderes System $\xi$ und $v$. Für die Schnittpunkte der beiden Blicklinien mit den Ebenen sei $x = y = 0$ und $\xi = v = 0$. Die Ebenen der Netzhauthorizonte mögen die beiden Ebenen in den Linien

$$ax + by = 0 \quad \text{und} \quad \alpha\xi + \beta v = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

schneiden; die scheinbar verticalen Meridianebenen in den Linien

$$cx + dy = 0 \quad \text{und} \quad \gamma\xi + \delta v = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1\,a).$$

Wenn nun die Coefficienten so gewählt sind, dafs

$$\left.\begin{array}{l} a^2 + b^2 = \alpha^2 + \beta^2 = 1 \\ c^2 + d^2 = \gamma^2 + \delta^2 = 1 \end{array}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1\,b),$$

welchen Bedingungen man immer dadurch Genüge leisten kann, dafs man beide Coefficienten je einer Gleichung mit einem constanten Factor multiplicirt, wobei die Gleichungen 1) und 1 a) weiter nicht geändert werden, so bedeutet nach einem bekannten Satze der analytischen Geometrie der Ausdruck

$$ax + by$$

die Entfernung des Punktes $(x, y)$ von der Linie, deren Gleichung ist $ax + by = 0$. Entsprechende Bedeutung haben die andern Ausdrücke, die in den Gleichungen 1) und 1 a) gleich Null gesetzt sind. Den erwähnten Factoren, mit welchen die Coefficienten dieser Gleichungen zu multipliciren sind, kann man aufserdem ein solches Vorzeichen geben, dafs die Ausdrücke

$$ax + by \quad \text{und} \quad \alpha\xi + \beta v$$

positiv auf correspondirenden Seiten der beiden Netzhauthorizonte, und ebenso die Ausdrücke

$$cx + dy \quad \text{und} \quad \gamma\xi + \delta v$$

positiv sind auf correspondirenden Seiten der scheinbar verticalen Meridianebenen.

Die Versuche haben uns zu dem Gesetze geführt, dafs solche Punkte beider 746
Ebenen correspondiren, welche gleich weit von den Ebenen der Netzhauthorizonte abstehen und aufserdem gleich weit von den Ebenen der scheinbar verticalen

Meridiane entfernt sind. Sind die vorausgenannten Bedingungen bezüglich der Coefficienten in den Gleichungen 1) und 1 a) erfüllt, so sind die Bedingungen der Correspondenz:

$$\left.\begin{aligned} ax + by &= \alpha\xi + \beta v \\ cx + dy &= \gamma\xi + \delta v \end{aligned}\right\} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1\,c)$$

Eine gerade Linie des einen Feldes nennen wir correspondirend einer des anderen Feldes, wenn jeder Punkt der ersten einen correspondirenden Punkt in der andern findet.

Wenn wir beliebige Constanten mit $l$, $m$, $n$ bezeichnen, so ist die Linie:

$$l(ax + by) + m(cx + dy) + n = 0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1\,d)$$

correspondirend mit der Linie im andern Felde

$$l(\alpha\xi + \beta v) + m(\gamma\xi + \delta v) + n = 0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1\,e)$$

Denn wenn wir für irgend welche constanten Werthe von $(x, y)$ im zweiten Felde die Linie ziehen:

$$\alpha\xi + \beta v = ax + by \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1\,f)$$

so ist für deren Schnittpunkt mit der Linie 1 e) auch

$$\gamma\xi + \delta v = cx + dy,$$

wie aus der Subtraction der Gleichungen 1 d) und 1 e) in diesem Falle folgt. Der Schnittpunkt von 1 e) und 1 f) ist also in diesem Falle correspondirend mit dem Punkte $(x, y)$.

Es wird sich die Gleichung jeder geraden Linie

$$fx + gy + h = 0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1\,g)$$

leicht auf die Form 1 d) bringen lassen, indem man setzt

$$f = la + mc$$

$$g = lb + md$$

$$h = n$$

oder

$$l = \frac{df - gc}{ad - bc}$$

$$m = \frac{bf - ag}{bc - ad}$$

$$n = h,$$

wodurch die drei Coefficienten der Gleichung 1 d) eindeutig bestimmt sind. Indem man dann aus der Gleichung 1 d) die Gleichung 1 e) bildet, findet man die correspondirende Linie von 1 g).

Wenn wir die Gleichung 1 d) dividiren durch

$$k = \sqrt{(la + mc)^2 + (lb + md)^2},$$

so kommt die Gleichung auf die Normalform der Flächengleichungen, wobei die Grösse $\frac{n}{k}$ den Abstand zwischen der Fläche 1 d) und dem Nullpunkte der Coordi- 747
naten bezeichnet. Setzen wir

$$\varkappa = \sqrt{(l\alpha + m\gamma)^2 + (l\beta + m\delta)^2},$$

so bezeichnet $\frac{n}{\varkappa}$ dieselbe Distanz für die Fläche 1 e). Beide Distanzen sind also nur dann gleich, wenn

$$k^2 = \varkappa^2.$$

Mit Berücksichtigung der Gleichung 1 b) wird dies:

$$2ml(ac + bd) - 2ml(\alpha\gamma + \beta\delta) = 0.$$

Wenn nun nicht

$$ac + bd = \alpha\gamma + \beta\delta$$

ist, das heisst, wenn die beiden Ebenenpaare 1) und 1 a) in jedem Auge nicht gleiche Winkel mit einander machen, so ist jene Bedingung nur zu erfüllen, wenn entweder $m = 0$ oder $l = 0$ ist, das heisst, wenn die Ebenen 1 d) und 1 e) entweder mit den Ebenen 1) oder mit den Ebenen 1 a) zusammenfallen. Diese beiden sind durch die angegebene Eigenschaft also vor allen anderen correspondirenden Ebenenpaaren, welche durch die Blicklinie gehen, ausgezeichnet. Wir können deshalb die genannten beiden Ebenen als Hauptmeridianebenen bezeichnen.

Berechnung correspondirender Strecken und Winkel in beiden Augen. Legen wir der Bequemlichkeit wegen die $x$ und $\xi$ Axe in den Netzhauthorizont, so wird in den Gleichungen 1)

$$a = \alpha = 0, \quad b = \beta = 1$$

und setzen wir die Lage der scheinbar verticalen Meridiane, wie dies wenigstens in der Regel sehr nahehin der Fall ist, als symmetrisch voraus, so ist zu nehmen

$$\frac{d}{c} = -\frac{\delta}{\gamma} = -\operatorname{tang} \varepsilon,$$

wo $\varepsilon$ die Abweichung zwischen dem scheinbar und wirklich verticalen Meridiane jedes Auges bezeichnet. Dann ist

$$c = \cos \varepsilon \qquad \gamma = \cos \varepsilon$$
$$d = -\sin \varepsilon \qquad \delta = \sin \varepsilon.$$

Die Gleichungen der Netzhauthorizonte sind dann

$$y = 0 \text{ und } v = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1\text{h}),$$

die der scheinbar verticalen Linien

$$x \cos \varepsilon - y \sin \varepsilon = 0 \text{ und } \xi \cos \varepsilon + v \sin \varepsilon = 0 \ldots\ldots \quad 1\text{i})$$

und die Gleichungen correspondirender Linien, welche durch die Blickpunkte gehen, werden nach 1d) und 1e)

$$xm \cos\varepsilon + y\,(l - m \sin\varepsilon) = 0$$

$$\xi m \cos\varepsilon + v\,(l + m \sin\varepsilon) = 0.$$

748 Sind $s$ und $\sigma$ die Winkel, welche diese Linien mit den Axen der $x$ und $\xi$ machen, so ist

$$\operatorname{tang} s = \frac{y}{x} = -\frac{m \cos\varepsilon}{l - m \sin\varepsilon}$$

$$\operatorname{tang} \sigma = \frac{v}{\xi} = -\frac{m \cos\varepsilon}{l + m \sin\varepsilon},$$

woraus folgt:

$$\operatorname{tang}(\sigma - s) = \frac{2m^2 \cos\varepsilon \sin\varepsilon}{l^2 + m^2 \cos(2\varepsilon)}$$

$$\operatorname{tang}(\sigma + s) = -\frac{2ml \cos\varepsilon}{l^2 - m^2}.$$

Setzen wir nun

$$\frac{m}{l} = \operatorname{tang}\beta,$$

so wird

$$\operatorname{tang}(\sigma - s) = \frac{\operatorname{tang}^2\beta . \sin(2\varepsilon)}{1 + \operatorname{tang}^2\beta \cos(2\varepsilon)}$$

$$\operatorname{tang}(\sigma + s) = -\operatorname{tang}(2\beta)\cos\varepsilon$$

oder da $\varepsilon$ ein verhältnifsmäfsig kleiner Winkel ist und deshalb $\cos\varepsilon = \cos 2\varepsilon = 1$ und $\sin(2\varepsilon) = 2\varepsilon$ gesetzt werden kann

$$\beta = -\frac{s + \sigma}{2}$$

$$\sigma - s = 2\varepsilon \sin^2\beta.$$

Die Winkel $s$ und $\sigma$ sind von den Netzhauthorizonten ab gezählt. Sollen sie von der Visirebene ab gerechnet werden, so mufs zu der Differenz noch der Winkel $\gamma$ hinzukommen, den die Netzhauthorizonte machen, und wir erhalten dann die oben gebrauchte Formel für ihre Differenz

$$\Delta = \gamma + 2\varepsilon \sin^2\beta \; \ldots\ldots\ldots\ldots \; 2).$$

Correspondirende Visirlinien und Ebenen. Ziehen wir durch jeden einzelnen eines Paars correspondirender Punkte und den Mittelpunkt der Visirlinien des zugehörigen Auges gerade Linien, so sind diese correspondirende Visirlinien. Punkte, die in solchen correspondirenden Visirlinien liegen, werden auf Deckstellen beider Netzhäute abgebildet.

Befindet sich in den bisher betrachteten Ebenen der $(x, y)$ und $(\xi, v)$ ein Paar correspondirender gerader Linien verzeichnet, so liegen deren Visirlinien alle in

zwei durch die Mittelpunkte der Visirlinien gehenden Ebenen, welche correspondirende Ebenen genannt werden können.

Jedes Paar gerader Linien, welches in einem Paare correspondirender Ebenen gezogen ist, bildet sich auf correspondirenden Linien beider Netzhäute ab.

Wenn zwei correspondirende Ebenen sich schneiden, so bildet sich die Schnittlinie auf correspondirenden Linien beider Netzhäute ab.

Die Coordinaten der Mittelpunkte der Visirlinien seien

$$x = 0, \qquad y = 0, \qquad z = e$$
$$\xi = 0, \qquad v = 0, \qquad \zeta = e.$$

Nach bekannten Sätzen der analytischen Geometrie ist die Gleichung einer Ebene, welche durch den Punkt $(x, y, z)$ geht, von der Form 749

$$fx + gy + \frac{h}{e}(e - z) = 0.$$

Setzen wir $z = 0$, so kommt die Gleichung unmittelbar auf die Form 1g) und ist nach der dort angegebenen Methode die correspondirende Linie in der $(\xi, v)$ Ebene, und danach die correspondirende Ebene zu finden.

Bilden wir die Gleichungen

$$\left.\begin{array}{ll} A = ax + by & \mathfrak{A} = \alpha\xi + \beta v \\ B = cx + dy & \mathfrak{B} = \gamma\xi + \delta v \\ C = z - e & \mathfrak{C} = \zeta - e \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3),$$

so sind alle Ebenen, deren Gleichungen von der Form sind

$$\left.\begin{array}{l} lA + mB + nC = 0 \\ l\mathfrak{A} + m\mathfrak{B} + n\mathfrak{C} = 0 \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3a)$$

correspondirende Ebenen. Denn die Gleichungen sind von der Form derjenigen, welche durch die Mittelpunkte der Visirlinien gehen, und wenn wir $z = 0$ und $\zeta = 0$ setzen, behalten wir nach dem in 1d) und 1e) ausgesprochenen Satze die Gleichungen correspondirender Linien übrig, die in den $xy$ und $\xi v$ Ebenen liegen. Folglich sind die Ebenen correspondirend.

Correspondirende Visirlinien sind zu geben als Schnittlinien je zweier Paare correspondirender Ebenen.

Gleichungen für die einfach gesehenen Geraden. Bisher haben wir die Lage der correspondirenden Linien und Ebenen nur in Bezug auf die Lage des zugehörigen Auges betrachtet, aber die Lage der Augen gegen einander und zu den Objecten des Raumes noch gar nicht berücksichtigt. Um das letztere zu thun, denken wir uns die Lage aller Punkte und der Augen selbst auf ein gemeinsames rechtwinkeliges Coordinatensystem der $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, $\mathfrak{z}$ bezogen. Wenn wir die $x$, $y$, $z$ und $\xi$, $v$, $\zeta$ durch diese neuen Coordinaten ausdrücken, werden ihre Werthe bekanntlich lineare Funktionen der $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, $\mathfrak{z}$, und ebenso auch die linear aus $x$, $y$, $z$, beziehlich $\xi$, $v$, $\zeta$ zusammengesetzten Gröfsen $A$, $B$, $C$ und $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$.

Durch jeden Raumpunkt geht im Allgemeinen eine einfach gesehene gerade Linie. Der Beweis hierfür ist zu führen, wie folgt. Die

Gleichungen correspondirender Ebenen sind nach 3a)

$$\left.\begin{array}{l} lA + mB + nC = 0 \\ l\mathfrak{A} + m\mathfrak{B} + n\mathfrak{C} = 0 \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3\text{b}).$$

Beide zusammengenommen geben die Lage ihrer Schnittlinie, welche, wie schon bemerkt wurde, einfach gesehen und also eine gerade Horopterlinie wird.

Wenn man in 3a) für $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, $\mathfrak{z}$ die Coordinaten irgend eines beliebigen Punktes $\mathfrak{x}_0$, $\mathfrak{y}_0$, $\mathfrak{z}_0$ setzt, werden sich doch immer die Coefficienten $l$, $m$, $n$ so bestimmen lassen, dafs die beiden Gleichungen 3b) erfüllt sind. Da man durch Multiplication mit einem gemeinsamen Factor einem der Coefficienten einen beliebigen Werth geben kann, so sind nur zwei zu bestimmen, wozu die beiden Gleichungen im Allgemeinen ausreichen. Man erhält

750

$$\frac{l}{n} = \frac{B_0\mathfrak{C}_0 - \mathfrak{B}_0 C_0}{A_0\mathfrak{B}_0 - \mathfrak{A}_0 B_0}$$

$$\frac{m}{n} = \frac{A_0\mathfrak{C}_0 - \mathfrak{A}_0 C_0}{\mathfrak{A}_0 B_0 - A_0\mathfrak{B}_0}$$

Dadurch sind Werthe der Verhältnisse von $l$, $m$, $n$ bestimmt, welche den Gleichungen 3a) genügen, und zwar im Allgemeinen eindeutig, vorausgesetzt, dafs die obigen Brüche nicht von der Form $\frac{0}{0}$ werden, was geschieht, wenn

$$\left.\begin{array}{l} A_0\mathfrak{C}_0 = \mathfrak{A}_0 C_0 \\ B_0\mathfrak{C}_0 = \mathfrak{B}_0 C_0 \\ \text{woraus dann im Allgemeinen folgt, dafs auch} \\ A_0\mathfrak{B}_0 = \mathfrak{A}_0 B_0 \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3\text{c}).$$

Wir werden später sehen, dafs diese drei letzteren Gleichungen den Punkten der Horoptercurve entsprechen. Mit Ausnahme also dieser Punkte läfst sich durch jeden Punkt des Raumes eine und nur eine gerade und einfach gesehene Linie legen, durch die mittels der Gleichungen 3c) gegebenen Punkte aber beliebig viele.

Flächen zweiten Grades, auf denen die einfach gesehenen Linien liegen. Wenn man zwei Paare correspondirender Flächen hat

$$\left.\begin{array}{ll} l_0 A + m_0 B + n_0 C = 0, & l_0\mathfrak{A} + m_0\mathfrak{B} + n_0\mathfrak{C} = 0 \\ l_1 A + m_1 B + n_1 C = 0, & l_1\mathfrak{A} + m_1\mathfrak{B} + n_1\mathfrak{C} = 0 \end{array}\right\} \quad \ldots \quad 4),$$

so schneiden sich die beiden rechts stehenden Flächen in einer Visirlinie, die links stehenden in der correspondirenden Visirlinie. Multiplicirt man nun die unteren Gleichungen mit einem neuen Factor $k$ und addirt sie zu den oberen, so erhält man

$$\left.\begin{array}{l} (l_0 + kl_1)A + (m_0 + km_1)B + (n_0 + kn_1)C = 0 \\ (l_0 + kl_1)\mathfrak{A} + (m_0 + km_1)\mathfrak{B} + (n_0 + kn_1)\mathfrak{C} = 0 \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots \quad 4\text{a}).$$

Es sind dies die Gleichungen eines dritten Paars correspondirender Flächen, welche aber ebenfalls durch dasselbe Paar Visirlinien gehen, wie die Flächen der

Gleichungen 4). Da nämlich für die Punkte der einen Visirlinie die beiden Gleichungen links unter 4) erfüllt sind, ist auch nothwendig die obere Gleichung 4a) für dieselben Punkte erfüllt, das heifst die Punkte jener Visirlinien liegen auch in der der letzteren Gleichung entsprechenden Fläche. Dasselbe gilt für die rechtsstehenden Gleichungen unter 4) und die untere unter 4a).

Die beiden Gleichungen 4a) geben zusammen eine einfach gesehene gerade Linie, da sie einzeln genommen correspondirenden Ebenen entsprechen. Lassen wir nun den Factor $k$ sich continuirlich verändern, so wird im Allgemeinen auch die einfach gesehene gerade Linie ihre Lage verändern, und zwar in continuirlicher Weise. Alle diese geraden Linien, welche auf solche Weise durch continuirliche Änderung von $k$ sich ergeben, werden sich zu einer Fläche zusammenschliefsen, deren Gleichung sich ergiebt, wenn wir aus den beiden Gleichungen 4a) den Factor $k$ eliminiren. So erhalten wir als Gleichung für die Fläche, in der die genannte Reihe einfach gesehener gerader Linien liegt:

$$[l_0 A + m_0 B + n_0 C]\,[l_1 \mathfrak{A} + m_1 \mathfrak{B} + n_1 \mathfrak{C}]$$
$$- [l_1 A + m_1 B + n_1 C]\,[l_0 \mathfrak{A} + m_0 \mathfrak{B} + n_0 \mathfrak{C}] = 0$$

oder wenn wir die Multiplication ausführen: 751

$$(l_0 m_1 - l_1 m_0)\,[A\mathfrak{B} - \mathfrak{A}B] + (l_1 n_0 - l_0 n_1)\,[\mathfrak{A}C + A\mathfrak{C}]$$
$$+ (m_0 n_1 - m_1 n_0)\,[B\mathfrak{C} - \mathfrak{B}C] = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots 4\text{b}).$$

Da die Gröfsen $A$, $B$, $C$, so wie $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$ lineare Funktionen von $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, $\mathfrak{z}$ sind, so ist die Gleichung 4b) die einer Fläche zweiten Grades, und zwar einer solchen, in deren Oberfläche unendlich lange gerade Linien gezogen werden können. Unter den Flächen zweiten Grades lassen dies zu die Hyperboloide mit einer Mantelfläche, welche im Grenzfall in Kegel, Cylinder oder auch zwei sich schneidende Ebenen übergehen können.

Vergleichen wir nun die Gleichung 4b) mit den Gleichungen 3c), welche die Punkte geben, durch welche unendlich viele einfach gesehene gerade Linien gezogen werden können:

$$\left.\begin{aligned} A\mathfrak{C} - \mathfrak{A}C &= 0 \\ \mathfrak{B}C - B\mathfrak{C} &= 0 \\ \mathfrak{A}B - A\mathfrak{B} &= 0 \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots 4\text{c}),$$

so sehen wir, dafs auch dies Gleichungen von Hyperboloiden sind, und zwar derselben Art, wie die Fläche 4b), welche letztere bei bestimmten Werthen der Coefficienten $l$, $m$, $n$ in je eine der Gleichungen 4c) übergehen kann.

Nehmen wir zwei von den letzteren, zum Beispiel

$$\left.\begin{aligned} A\mathfrak{C} - \mathfrak{A}C &= 0 \\ B\mathfrak{C} - \mathfrak{B}C &= 0 \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots 4\text{d}),$$

so werden dieselben sich in einer Curve schneiden müssen, da sie jedenfalls zwei Punkte gemein haben, nämlich die Mittelpunkte der Visirlinien, für deren einen

$$A = B = C = 0,$$

während für den andern

$$\mathfrak{A} = \mathfrak{B} = \mathfrak{C} = 0$$

und jede dieser beiden Annahmen den beiden Flächengleichungen genügt. Aufserdem ist leicht zu sehen, dafs auch die Annahme

$$C = \mathfrak{C} = 0$$

den beiden Flächengleichungen genügt, das heifst, die gerade Schnittlinie der beiden Flächen $C = 0$ und $\mathfrak{C} = 0$ mufs beiden Hyperboloiden angehören, also mit zu ihrer gesammten Schnittlinie gehören. Diese Schnittlinie setzt sich also zusammen aus einer geraden Linie $C = 0$, $\mathfrak{C} = 0$, und einem anderen Stück, welches im Allgemeinen eine Curve doppelter Krümmung sein wird.

Aus den beiden Gleichungen 4d) können wir $\mathfrak{C}$ eliminiren, indem wir die obere mit $B$, die untere mit $A$ multipliciren und addiren. Wir erhalten

$$(A\mathfrak{B} - \mathfrak{A}B)\,C = 0.$$

Wenn also $C$ nicht gleich Null ist, so folgt aus dieser Elimination die dritte der Gleichungen 4c)

$$\mathfrak{A}B - A\mathfrak{B} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ 4e).$$

Sollte $C$ gleich Null sein, so würde nach 4d) entweder auch $\mathfrak{C} = 0$ sein müssen, oder gleichzeitig $A = B = 0$. Nur im letzteren Falle würde die Gleichung 4e)
752 giltig sein; die Bedingungen $A = B = C = 0$ gehören dem Mittelpunkte der Visirlinien des einen Auges an.

Daraus folgt, dafs für die Punkte der Schnittlinie der Flächen 4d), welche nicht der geraden Linie $C = \mathfrak{C} = 0$ angehören, auch die Gleichung 4e) erfüllt ist, dafs also die drei Flächen 4e) sich in ein und derselben Curve doppelter Krümmung schneiden. Je zwei der Flächen haben immer noch eine gerade Schnittlinie, die aber im Allgemeinen nicht der dritten Fläche angehört.

Wenn man nun die Gleichungen dreier Flächen hat

$$X = 0 \qquad Y = 0 \qquad Z = 0,$$

die eine gemeinsame Schnittlinie besitzen, so wird auch jede Fläche, deren Gleichung von der Form ist

$$lX + mY + nZ = 0,$$

durch dieselbe Schnittlinie gehen. Da nämlich für die Punkte der Schnittlinie die ersteren drei Gleichungen erfüllt sind, ist für dieselben auch nothwendig die letztere erfüllt.

Nun ist die Gleichung 4b) in der angegebenen Weise aus den drei Gleichungen 4c) zusammengesetzt. Folglich gehen alle die unendlich vielen Hyperboloide, auf denen die einfach gesehenen Linien liegen, durch die gemeinsame Schnittcurve der Gleichungen 4c).

Diese Curve ist eine sogenannte Curve dritten Grades, dafs heifst, sie kann von einer und derselben Ebene in drei Punkten geschnitten werden. Da nämlich die Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades wie zum Beispiel der beiden Flächen 4d) im Allgemeinen vom vierten Grade ist und in vier oder zwei Punkten von einer Ebene geschnitten werden kann, einer dieser Schnittpunkte aber nothwendig der geraden Linie angehört (Parallelismus wird als Schneidung im Unendlichen betrachtet), so bleiben nur drei Schnittpunkte oder einer für die Curve. So schneidet zum Beispiel die Visirebene die Horoptercurve im Fixationspunkte und in den

Mittelpunkten beider Augen. Denkt man sich die schneidende Ebene unendlich weit entfernt, so wird sie auch in ein oder drei Punkten schneiden müssen, was dann ein oder drei Paare nach entgegengesetzten Richtungen in das Unendliche auslaufender Zweige der Curve giebt.

*Die Curve dritten Grades ist Horoptercurve*, das heifst, in ihr schneiden sich correspondirende Visirlinien. Die drei Gleichungen 4c) können wir nämlich auch schreiben

$$\frac{A}{\mathfrak{A}} = \frac{B}{\mathfrak{B}} = \frac{C}{\mathfrak{C}} \quad \ldots\ldots 4f)$$

Nun sind die Gleichungen 4) die Gleichungen zweier correspondirender Visirlinien. Nehmen wir die der einen

$$\left.\begin{array}{l} l_0 A + m_0 B + n_0 C = 0 \\ l_1 A + m_1 B + n_1 C = 0 \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots 4g)$$

und setzen voraus, dafs sie durch einen Punkt der Curve dritten Grades geht, in welchem dann die Gleichungen 4f) erfüllt sind, so folgt: wenn wir die beiden Gleichungen 4g) mit $\frac{\mathfrak{A}}{A}$ multipliciren mit Berücksichtigung von 4f), dafs für denselben Punkt auch sei

$$l_0 \mathfrak{A} + m_0 \mathfrak{B} + n_0 \mathfrak{C} = 0$$
$$l_1 \mathfrak{A} + m_1 \mathfrak{B} + n_1 \mathfrak{C} = 0,$$

dafs also derselbe Punkt auch der correspondirenden Visirlinie angehört. Es 753
schneiden sich also correspondirende Visirlinien in je einem Punkte der gemeinsamen Schnittlinie der Flächen 4c). Diese ist die *Horoptercurve*. Dafs nicht alle Stücke dieser Curve auch gleichzeitig *Horopter* sind, ist schon oben erwähnt worden.

*Kegel zweiten Grades, welche durch die Horoptercurve gehen.* Wenn die beiden correspondirenden Visirlinien der Gleichungen 4) sich in einem Punkte schneiden, der alsdann der Horoptercurve angehört, so gehen auch alle die durch die beiden Visirlinien gelegten Ebenen der Gleichungen 4a) durch denselben Punkt, folglich auch alle Schnittlinien dieser Ebenen, aus denen sich die Oberfläche zweiten Grades zusammensetzt. Eine Fläche zweiten Grades, in der ein System unendlich langer gerader Linien liegt, die alle durch einen und denselben Punkt gehen, ist ein *Kegel zweiten Grades*.

Jeder Punkt der Horoptercurve ist also die Spitze eines Kegels zweiten Grades, in dessen Mantel die ganze Horoptercurve liegt. Dieser Kegel kann in besonderen Fällen in einen *Cylinder* (Kegel mit unendlich entfernter Spitze) oder in *ein Paar sich schneidender Ebenen* (Kegel, dessen elliptische Basis eine unendlich lange Axe hat) übergehen.

Jede gerade Linie, welche zwei Punkte der Horoptercurve schneidet, gehört zwei solchen Kegeln an und wird also einfach gesehen.

Wenn sich einer der Kegel in ein Ebenenpaar verwandeln kann, so besteht die Horoptercurve aus einem ebenen Kegelschnitt und einer geraden Linie, die den Kegelschnitt in einem Punkte schneidet. Denn man denke sich zur Construction der Horoptercurve aufser dem einen Kegel, der durch die beiden Ebenen dargestellt

wird, noch einen zweiten, dessen Spitze in einer der beiden Ebenen liegen muſs, so schneiden diese sich in zwei geraden Linien und einem Kegelschnitt. Die eine Gerade aber gehört nicht zur Horoptercurve.

Einzelne Fälle. Um nun die wirkliche Berechnung der Horoptercurve in einzelnen Fällen ausführen zu können, müssen wir die Ausdrücke $A$, $B$, $C$ und $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$ wirklich bilden als Functionen von $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, $\mathfrak{z}$. Wir nehmen an, daſs der Fixationspunkt der Nullpunkt dieses letztern Systems sei, die Visirebene die Ebene der $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, die $\mathfrak{z}$ positiv nach oben steigend. Die Halbirungslinie des Convergenzwinkels der beiden Gesichtslinien sei die Axe der $\mathfrak{x}$, der Convergenzwinkel selbst sei $2\gamma$, die Entfernung des Mittelpunkts der Visirlinien im rechten Auge vom Fixationspunkte sei $a$, die des linken $a_1$. Dann sind die Coordinaten für den Mittelpunkt der Visirlinien

im rechten Auge: $\mathfrak{x} = a\cos\gamma, \quad \mathfrak{y} = a\sin\gamma, \quad \mathfrak{z} = 0$

im linken Auge: $\mathfrak{x} = a_1\cos\gamma, \quad \mathfrak{y} = -a_1\sin\gamma, \quad \mathfrak{z} = 0.$

Nehmen wir nun ein zweites Coordinatensystem zu Hilfe: $\mathfrak{x}_1$, $\mathfrak{y}_1$, $\mathfrak{z}_1$, welches gegen das erste um die $\mathfrak{z}$ Axe und den Winkel $\gamma$ gedreht ist, so daſs seine $\mathfrak{x}_1$ Axe mit der Gesichtslinie des rechten Auges zusammenfällt, so haben wir

$$\mathfrak{x}_1 = \mathfrak{x}\cos\gamma + \mathfrak{y}\sin\gamma$$
$$\mathfrak{y}_1 = -\mathfrak{x}\sin\gamma + \mathfrak{y}\cos\gamma$$
$$\mathfrak{z}_1 = \mathfrak{z},$$

was den beiden Bedingungen genügt, daſs

$$\mathfrak{x}_1^2 + \mathfrak{y}_1^2 = \mathfrak{x}^2 + \mathfrak{y}^2$$

und daſs für $\mathfrak{x}_1 = a$, $\mathfrak{y}_1 = 0$, die oben angegebenen Werthe der Coordinaten für den Mittelpunkt des rechten Auges sich finden.

754 In dem System $(\mathfrak{x}_1\ \mathfrak{y}_1\ \mathfrak{z}_1)$ fällt die Axe der $\mathfrak{x}_1$ zusammen mit der Axe der $z$ in dem oben in den Gleichungen 1) bis 1 i) gebrauchten System der $x$, $y$, $z$, so daſs

$$\mathfrak{x}_1 = a - z + e.$$

Das System der $x\,y\,z$ ist gedreht gegen das erstere um den Winkel $\vartheta$, den der Netzhauthorizont mit der Visirebene macht; also ist

$$x = \mathfrak{y}_1\cos\vartheta - \mathfrak{z}_1\sin\vartheta$$
$$y = \mathfrak{y}_1\sin\vartheta + \mathfrak{z}_1\cos\vartheta,$$

wobei der Winkel $\vartheta$ positiv gerechnet ist für eine Drehung des oberen Endes des senkrechten Meridians nach rechts herum, also beim Blick nach links oben und rechts unten. Demgemäſs ist

$$\left.\begin{aligned} x &= -\mathfrak{x}\sin\gamma\cos\vartheta + \mathfrak{y}\cos\gamma\cos\vartheta - \mathfrak{z}\sin\vartheta \\ y &= -\mathfrak{x}\sin\gamma\sin\vartheta + \mathfrak{y}\cos\gamma\sin\vartheta + \mathfrak{z}\cos\vartheta \\ z &= -\mathfrak{x}\cos\gamma \qquad - \mathfrak{y}\sin\gamma \qquad + a + e \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ 5).$$

Daraus bilden sich nun nach Gleichungen 3) mit Berücksichtigung von 1 h) und 1 i), sowie der dort vorausgeschickten Festsetzungen, die Ausdrücke:

$$\left.\begin{aligned} A &= y = -\mathfrak{x}\sin\gamma\sin\vartheta + \mathfrak{y}\cos\gamma\sin\vartheta + \mathfrak{z}\cos\vartheta \\ B &= x\cos\varepsilon - y\sin\varepsilon \\ &= -\mathfrak{x}\sin\gamma\cos(\vartheta+\varepsilon) + \mathfrak{y}\cos\gamma\cos(\vartheta+\varepsilon) - \mathfrak{z}\sin(\vartheta+\varepsilon) \\ C &= z - e = a - \mathfrak{x}\cos\gamma - \mathfrak{y}\sin\gamma \end{aligned}\right\} \ldots\ldots 5\mathrm{a}).$$

In ähnlicher Weise finden sich die Ausdrücke $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, wenn $\vartheta_1$ der Raddrehungswinkel für das linke Auge ist:

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{A} &= +\mathfrak{x}\sin\gamma\sin\vartheta_1 + \mathfrak{y}\cos\gamma\sin\vartheta_1 + \mathfrak{z}\cos\vartheta_1 \\ \mathfrak{B} &= \mathfrak{x}\sin\gamma\cos(\vartheta_1-\varepsilon) + \mathfrak{y}\cos\gamma\cos(\vartheta_1-\varepsilon) - \mathfrak{z}\sin(\vartheta_1-\varepsilon) \\ \mathfrak{C} &= a_1 - \mathfrak{x}\cos\gamma + \mathfrak{y}\sin\gamma \end{aligned}\right\} \ldots\ldots 5\mathrm{b}).$$

Vereinfachte Formen der Horoptercurve. Solche finden sich namentlich in den Fällen, wo ein Paar correspondirender Ebenen ganz in einander fällt. Dann schneidet sich nämlich nothwendig jede in dieser Ebene liegende Visirlinie des einen Auges mit der correspondirenden des andern und giebt einen Punkt der Horoptercurve, der in der Ebene liegt. Sollten die Visirlinien parallel laufen, so geben sie unendlich entfernte Punkte dieser Curve. Dann ist also ein Theil der Horoptercurve eine ebene Curve oder eine gerade Linie. Ist das erstere der Fall, und machen wir irgend einen Punkt dieser Curve zum Mittelpunkt eines durch die Horoptercurve gelegten Kegels, so wird ein Theil dieser Kegelfläche eine Ebene, der Rest der Kegelfläche kann dann nur eine zweite Ebene sein. Denn nur der Grenzfall, wo der Kegel in zwei sich schneidende Ebenen übergeht, erlaubt, dafs ein Theil der Kegeloberfläche eben sei. Wenn diese anderen Ebenen, die nicht durch die dem Horopter angehörige ebene Curve gehen, eine gemeinsame Schnittlinie haben, so kann diese nur eine gerade Linie sein, die durch einen Punkt der erwähnten ebenen Curve gehen mufs. Zugleich folgt, dafs die Curve eine Curve zweiten Grades sein mufs, denn nur unter dieser Bedingung können die Kegel, welche ihre Spitze in der geraden Linie haben, Kegel zweiten Grades sein.

Ist zweitens die Schnittcurve der correspondirenden Visirlinien eine gerade 755
Linie, so folgt, dafs jeder Kegel, der einen aufserhalb dieser geraden Linie liegenden Theil der Horoptercurve zur Spitze hat, einen ebenen Theil hat, folglich aus zwei Ebenen besteht, und dafs daher der Rest der Horoptercurve eine ebene Curve sein müsse.

Auch ist leicht einzusehen, dafs, wenn die Horoptercurve aus einer geraden Linie und einem Kegelschnitt besteht, die Augenmittelpunkte in dem letzteren liegen müssen und die Ebene desselben ein correspondirendes und zusammenfallendes Ebenenpaar beider Augen darstellt. Denn es kann nicht ein Auge in der Curve, ein anderes in der geraden Linie liegen; sonst würde ein Bündel von Visirlinien des ersteren, welches nach den Punkten der Curve geht und daher in einer Ebene liegt, im zweiten in einer gekrümmten Kegeloberfläche liegen, was nicht angeht. Und sollten beide Augen in der geraden Linie liegen, so müfste diese ein Paar correspondirender Visirlinien vertreten, und giebt es dann aufserhalb dieser geraden Linie noch irgend einen Punkt der Horoptercurve, z. B. den Fixationspunkt, so wäre die durch ihn und die Augen gelegte Ebene Vertreterin eines correspondirenden Ebenenpaares und müfste eine Horoptercurve enthalten.

Die Bedingung für die Zusammensetzung der Horoptercurve aus einem ebenen Kegelschnitt und einer diesen schneidenden geraden Linie ist also, dafs es Werthe von $l, m, n$ giebt, für welche die Gleichungen

$$lA + mB + nC = 0$$

$$l\mathfrak{A} + m\mathfrak{B} + n\mathfrak{C} = 0$$

identisch werden. Bringt man mittels der Gleichungen 5a) und 5b) diese Gleichungen auf die Form

$$f\mathfrak{x} + f_1\mathfrak{y} + f_2\mathfrak{z} + f_3 = 0$$

$$\varphi\mathfrak{x} + \varphi_1\mathfrak{y} + \varphi_2\mathfrak{z} + \varphi_3 = 0,$$

so mufs sein

$$\frac{f}{\varphi} = \frac{f_1}{\varphi_1} = \frac{f_2}{\varphi_2} = \frac{f_3}{\varphi_3}.$$

Der letzte Bruch ist unabhängig von $l, m, n$; in den drei ersten sind Zähler und Nenner lineare Functionen von $l, m, n$. Indem man jeden der drei ersten Brüche dem letzten gleich setzt, erhält man drei lineare Gleichungen für $l, m, n$ ohne constantes Glied, und daraus folgt, dafs die Determinante der Coefficienten von $l, m, n$ gleich Null sein mufs. Dies giebt eine Gleichung zwischen den Gröfsen $a$, $a_1$, $\vartheta$, $\vartheta_1$ und $\gamma$, welche erfüllt sein mufs, wenn die Horoptercurve die oben angegebene Gestalt erhalten soll. Es ist nicht nöthig, diese Rechnung hier durchzuführen, da uns nur diejenigen Stellungen der Augen näher interessiren, die nach dem LISTING'schen Gesetze möglich sind.

Geometrisch läfst sich die Bedingung hierfür folgendermaafsen ausdrücken. Bezeichnen wir die Linie, welche die beiden Mittelpunkte der Visirlinien verbindet, mit $F$. Diese Linie kann sowohl als eine der Visirlinien des rechten Auges, wie als eine des linken betrachtet werden. Im ersteren Sinne mufs es zu ihr eine correspondirende Visirlinie $H$ im linken Auge geben, im zweiten Sinne eine correspondirende $G$ im rechten Auge. Wenn $G$ und $H$ sich schneiden, so liegen sie mit $F$ in einer Ebene, welche dann für beide Augen correspondirend liegt, da zwei Paar correspondirender Visirlinien in ihr liegen, $F$ und $G$ für das rechte, $F$ und $H$ für das linke Auge. Bei jeder Stellung der Augen wird es also möglich sein, durch Drehung des einen um seine Gesichtslinie eine Stellung herbeizuführen, welche der Horoptercurve die gewünschte einfache Gestalt giebt.

756 Für Augen, welche dem Gesetze von LISTING folgen, symmetrisch gebildet sind und deren Netzhauthorizonte bei parallelen Blicklinien in der Visirebene liegen, ist es klar, dafs die genannte Bedingung erfüllt ist, **erstens** bei den symmetrischen Stellungen der Augen, wo die Linien $G$ und $H$ auch symmetrisch liegen und sich daher in der Medianebene schneiden müssen, **zweitens** wenn die Visirebene sich in ihrer Primärstellung befindet, weil dann die einander correspondirenden Netzhauthorizonte in ihr liegen. Es sind dies übrigens theoretisch nicht die einzigen Fälle der Art, sondern es würden für Augen, die dem LISTING'schen Gesetze genau folgen, in nach unten und seitlich gerichteten Stellungen noch gewisse sehr grofse Entfernungen des Fixationspunktes existiren, in denen die Visirebene für beide Augen correspondirend wäre und daher eine ebene Ellipse als Horoptercurve enthalten müfste. Von irgend welcher praktischer Wichtigkeit sind aber diese Fälle

cht, da bei sehr grofsen Entfernungen des Fixationspunktes überhaupt die Beobhtungen über die Lage der einfach gesehenen Punkte zu unbestimmt werden. In ıgen, wo die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane fehlt, rücken die wähnten Lagen des Fixationspunktes in unendliche Entfernung hinaus.

Mit Auslassung kleiner Gröfsen ist in solchen Fällen die Entfernung $\varrho$ des xationspunktes von dem Mittelpunkte eines mitten zwischen den Augen gelegenen əellen Auges, wenn $\alpha$ der Erhebungswinkel, $\gamma$ der Seitenwendungswinkel dieses ıges wäre, $a$ der halbe Abstand der wirklichen Augen, $\varepsilon$ die halbe Abweichung r scheinbar verticalen Meridiane von einander

$$\varrho = \pm \frac{a \cos \gamma}{\sin \varepsilon \sin \beta \cos \beta}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}.$$

In der Nähe der Medianebene, wo $\gamma = 0$ und in der Nähe der Primärlage der sirebene, wo $\alpha = 0$, wird $\beta = 0$ und $\varrho$ unendlich lang. Positive Werthe hat nur für ein negatives $\alpha$, also unterhalb der Visirebene.

Wir wollen jetzt die beiden erst erwähnten Fälle behandeln, in denen der ropter aus einer geraden Linie und einer ebenen Curve besteht, Fälle, welche ıe gewisse Wichtigkeit für die Beobachtungen haben.

A. Der Fixationspunkt liegt in der Medianebene in unendlicher ıtfernung. Dann wird in den Gleichungen 5a) und 5b)

$$a = a_1 \qquad \vartheta = -\vartheta_1$$

$$\left.\begin{aligned} &= -\mathfrak{x} \sin\gamma \sin\vartheta + \mathfrak{y} \cos\gamma \sin\vartheta + \mathfrak{z} \cos\vartheta \\ &= -\mathfrak{x} \sin\gamma \cos(\vartheta + \varepsilon) + \mathfrak{y} \cos\gamma \cos(\vartheta + \varepsilon) - \mathfrak{z} \sin(\vartheta + \varepsilon) \\ &= a - \mathfrak{x} \cos\gamma - \mathfrak{y} \sin\gamma \\ &= -\mathfrak{x} \sin\gamma \sin\vartheta - \mathfrak{y} \cos\gamma \sin\vartheta + \mathfrak{z} \cos\vartheta \\ &= \mathfrak{x} \sin\gamma \cos(\vartheta + \varepsilon) + \mathfrak{y} \cos\gamma \cos(\vartheta + \varepsilon) + \mathfrak{z} \sin(\vartheta + \varepsilon) \\ &= a - \mathfrak{x} \cos\gamma + \mathfrak{y} \sin\gamma \end{aligned}\right\} \quad \ldots 6).$$

Zusammenfallende correspondirende Ebenen finden sich, wenn wir setzen

$$A \sin\gamma + C \cos\gamma \sin\vartheta = 0$$

$$\mathfrak{A} \sin\gamma + \mathfrak{C} \cos\gamma \sin\vartheta = 0,$$

ın beide Gleichungen geben identisch, vorausgesetzt, dafs nicht $\sin\gamma$ und $\sin\vartheta$ 757
ichzeitig gleich Null sind:

$$\mathfrak{x} \sin\vartheta - \mathfrak{z} \sin\gamma \cos\vartheta - a \cos\gamma \sin\vartheta = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots 6a).$$

Dies ist also die Ebene des Kegelschnitts. Ferner wird für

$$\mathfrak{y} = 0 \text{ und } \mathfrak{x} \sin\gamma \cos(\vartheta + \varepsilon) = -\mathfrak{z} \sin(\vartheta + \varepsilon) \ldots\ldots\ldots 6b)$$

$$A = \mathfrak{A} = -\mathfrak{x} \sin\gamma \sin\vartheta + \mathfrak{z} \cos\vartheta$$

$$B = \mathfrak{B} = 0$$

$$C = \mathfrak{C} = a - \mathfrak{x} \cos\gamma.$$

[illegible] gegebenen geraden Linie [illegible] gerade Horopterlinie.

[illegible] die Horopterlinie [illegible] schneiden. Bildet man [illegible]

[illegible]

[illegible] die Ebene

$$\mathfrak{Z} = \mathfrak{Z}' = \iota$$

[illegible]

[illegible] parallel sind [illegible]

[illegible]

[illegible] = Const. [illegible]

[illegible]

[illegible] positiven [illegible]

**Werth hat, so mufs $\vartheta$ zu diesem Zwecke noch kleinere negative Werthe haben, was nur bei abwärts gerichteten Gesichtslinien und weiter Entfernung des Fixationspunktes eintreten kann.**

Die $Y$ Axe dieses in der Visirebene liegenden Kegelschnitts fällt mit der ebenen Horoptercurve zusammen; um die mediane Axe der letzteren zu finden, setze man den Werth von $\mathfrak{z}$ aus der Gleichung 6a) in 6c) und zugleich $\mathfrak{y} = 0$, so kann man für das eine und andere Ende der betreffenden Axe die Coordinaten $\mathfrak{x}_0$, $\mathfrak{z}_0$ und $\mathfrak{x}_1$, $\mathfrak{z}_1$ finden. Die Gröfse der stets reellen Axe $X_1$ ist dann gegeben durch die Gleichung

$$X_1^2 = \frac{1}{4}(\mathfrak{x}_1 - \mathfrak{x}_0)^2 + \frac{1}{4}(\mathfrak{z}_1 - \mathfrak{z}_0)^2$$

$$= \frac{a^2 \sin^2\gamma \cos^2\varepsilon\,(\sin^2\gamma \cos^2\vartheta + \sin^2\vartheta)}{4 \cos^2\gamma \cos^2\vartheta\,[\sin^2\gamma \cos\vartheta \cos(\vartheta+\varepsilon) + \sin\vartheta \,.\, \sin(\vartheta+\varepsilon)]^2}$$

und es findet sich

$$\frac{X_1^2}{Y^2} = \frac{\sin^2\gamma + \operatorname{tang}^2\vartheta}{\sin^2\gamma + \operatorname{tang}\vartheta \,.\, \operatorname{tang}(\vartheta+\varepsilon)}.$$

Mah kann zur Construction der Horoptercurve statt des bisher betrachteten Cylinders auch den Kegel des Verticalhoropters

$$B\mathfrak{C} - \mathfrak{B}C = 0$$

benutzen, oder

$$[\mathfrak{x} \sin\gamma \cos(\vartheta+\varepsilon) + \mathfrak{z} \sin(\vartheta+\varepsilon)]\,[a - \mathfrak{x}\cos\gamma] - \mathfrak{y}^2 \cos\gamma \sin\gamma \cos(\vartheta+\varepsilon) = 0$$

für $\mathfrak{z} = 0$, das heifst in der Visirebene, ist die Schnittlinie ein Kreis, gegeben durch folgende Gleichung:

$$\left(\mathfrak{x} - \frac{a}{2\cos\gamma}\right)^2 + \mathfrak{y}^2 = \frac{a^2}{4\cos^2\gamma}.$$

Dieser Kreis geht durch die Punkte

$$\mathfrak{x} = 0 \qquad \mathfrak{y} = 0$$

$$\mathfrak{x} = \frac{a}{\cos\gamma}, \qquad \mathfrak{y} = 0$$

$$\mathfrak{x} = a\cos\gamma \qquad \mathfrak{y} = a\sin\gamma$$

$$\mathfrak{x} = a\cos\gamma \qquad \mathfrak{y} = -a\sin\gamma.$$

Die zwei ersten sind der Fixationspunkt und der ihm diametral gegenüber liegende Punkt, die beiden andern sind die Mittelpunkte beider Augen. Dadurch ist dieser Kreis gegeben.

Der Kegel schneidet die Medianebene, $\mathfrak{y} = 0$, in den beiden Linien 759

$$\mathfrak{x} \sin\gamma \cos(\vartheta+\varepsilon) = -\mathfrak{z}\sin(\vartheta+\varepsilon)$$

$$\mathfrak{x}\cos\gamma = a.$$

Ersteres ist die gerade Horopterlinie, die zweite ist senkrecht zur Visirebene und schneidet diese in dem dem Fixationspunkt diametral gegenüberliegenden Punkte des Kreises. Die Ordinaten der Spitze des Kegels sind also

$$\mathfrak{x} = \frac{a}{\cos \gamma}$$

$$\mathfrak{z} = -a \operatorname{tang} \gamma \cdot \operatorname{cotang} (\vartheta + \varepsilon).$$

Um die Lage der betreffenden Linien und Ebenen zu finden für Augen, welche dem Gesetze von LISTING folgen, setzen wir den Erhebungswinkel zwischen der Primärlage der Visirebene und ihrer actuellen Lage gleich $\beta$, und haben dann

$$\operatorname{tang} \vartheta = \frac{\sin \gamma \sin \beta}{\cos \gamma + \cos \beta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 7)$$

Die Gleichung 6 a) für die Ebene der Horoptercurve wird dann

$$(\mathfrak{x} - a \cos \gamma) - \mathfrak{z} \frac{\cos \gamma + \cos \beta}{\sin \beta} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 7a)$$

Die Gleichungen für die Primärrichtung der Gesichtslinien sind unter diesen Umständen:

$$\mathfrak{y} = \pm a \sin \gamma \text{ und } \mathfrak{z} = (\mathfrak{x} - a \cos \gamma) \operatorname{tang} \beta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 7b)$$

Die Gleichungen für die actuellen Lagen der Blicklinien sind

$$\mathfrak{z} = 0 \text{ und } \mathfrak{y} = \pm \mathfrak{x} \operatorname{tang} \gamma \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 7c)$$

Der Fixationspunkt ist auf den letzteren Linien in der Entfernung $a$ von den Mittelpunkten der Augen. Schneiden wir auch auf den Linien 7 b) einen Punkt in der Entfernung $a$ vom Mittelpunkte des betreffenden Auges ab, so sind dessen Coordinaten

$$\mathfrak{x} = a (\cos \gamma - \cos \beta), \qquad \mathfrak{y} = \pm a \sin \gamma, \qquad \mathfrak{z} = -a \sin \beta \quad \ldots\ldots 7d)$$

Die Coordinaten eines Punktes dagegen, der in der Mitte zwischen diesem Punkte 7 d) und dem Fixationspunkte liegt, für welchen letzteren

$$\mathfrak{x} = 0 \qquad \mathfrak{y} = 0 \qquad \mathfrak{z} = 0$$

sind halb so groß als die Coordinaten 7 d), also

$$\mathfrak{x} = \frac{1}{2} a (\cos \gamma - \cos \beta), \qquad \mathfrak{y} = \pm \frac{1}{2} a \sin \gamma, \qquad \mathfrak{z} = -\frac{1}{2} a \sin \beta \quad \ldots 7e)$$

Diese letzteren Werthe erfüllen nun die Gleichung 7 a) und es liegen also die beiden Punkte 7 e) in der Ebene der Horoptercurve.

Die Ebene des Kegelschnitts, der der Horoptercurve angehört, wird also bei diesem Fixationspunkte gefunden, wenn man die Winkel, welche die primäre und

actuelle Lage jeder Blicklinie bilden, halbirt und durch die Halbirungslinie eine ene legt. Dieser Umstand ist bei der Construction auf Seite 865, *Fig. 249*, benutzt.

Wenn man ferner durch den Mittelpunkt jedes Auges eine Ebene legt, senk- 760
ht zu der Verbindungslinie desselben Punktes mit dem zugehörigen Punkte der ichungen 7e), so ist deren Gleichung

$$-a\cos\gamma)(\cos\gamma+\cos\beta)-(a\sin\gamma\mp\mathfrak{y})\sin\gamma+\mathfrak{z}\sin\beta=0 \ldots\ldots\ldots\ldots 7\text{f}).$$

Nimmt man hierzu noch die Gleichung einer Ebene, welche in der Entfernung $a\sin\gamma\,\text{cotang}\,\varepsilon$ unterhalb der Primärlage der Visirebene 7d) liegt und deren eichung ist:

$$\mathfrak{z}\cdot\cos\beta+a\,\text{cotang}\,\varepsilon\cdot\sin\gamma=(\mathfrak{x}-a\cos\gamma)\sin\beta \ldots\ldots\ldots\ldots 7\text{g}),$$

ergiebt sich, dafs die Ebenen, welche durch die gerade Horopterlinie gehen, mlich

$$\mathfrak{x}\sin\gamma+\mathfrak{z}\,\text{tang}\,(\vartheta+\varepsilon)=0, \qquad \mathfrak{y}=0$$

d die beiden Ebenen 7f) und 7g) durch einen Punkt gehen, da die Werthe von ı $\mathfrak{z}$ aus je drei dieser Gleichungen, mit Berücksichtigung von 7) in die vierte setzt, diese identisch machen. Darauf beruht die Construction der geraden Horopterie oben in *Fig. 250.*

B. Fixationspunkt in der Mittelebene in unendlicher Entfernung. ne besondere Untersuchung verdient noch der Fall, wenn $\sin\gamma$ und $\sin\vartheta$ gleichtig gleich Null sind, ein Fall, den wir oben bei der Gleichung 6a) von der ıtersuchung ausschliefsen mufsten. Es sind alsdann die Gesichtslinien einander rallel in die Ferne gerichtet. Die Entfernung $a$ des Fixationspunktes und die ordinate $\mathfrak{x}$ wird unendlich grofs, aber die Gröfse $a\sin\gamma$, welche die halbe Entnung der Augen ist, bleibt constant, wir wollen sie mit $b$ bezeichnen, und $\mathfrak{x}-a$ t $\mathfrak{k}$. Dann wird

$$A=\mathfrak{z} \qquad \mathfrak{A}=\mathfrak{z}$$

$$B=-b\cos\varepsilon+\mathfrak{y}\cos\varepsilon-\mathfrak{z}\sin\varepsilon \qquad \mathfrak{B}=b\cos\varepsilon+\mathfrak{y}\cos\varepsilon+\mathfrak{z}\sin\varepsilon$$

$$C=-\mathfrak{k} \qquad \mathfrak{C}=-\mathfrak{k}.$$

Dann sind also die Bedingungen der Correspondenz, dafs

$$A=\mathfrak{A}, \qquad B=\mathfrak{B}, \qquad C=\mathfrak{C}$$

llständig erfüllt für alle Punkte, für welche

$$b\cos\varepsilon+\mathfrak{z}\sin\varepsilon=0.$$

Dies sind die Punkte einer Ebene, die in der Entfernung $-b\,\text{cotang}\,\varepsilon$ unterlb der Visirebene liegt. Diese bildet also in diesen Fällen den Horopter.

C. Der Fixationspunkt liegt in der Primärlage der Visirebene. ıch dem LISTING'schen Gesetze wird

$$\vartheta=\vartheta_1=0$$

ıd also nach 5a) und 5b)

$$\left.\begin{aligned}
A &= \mathfrak{z} \\
B &= -\mathfrak{x} \sin\gamma \cos\varepsilon + \mathfrak{y} \cos\gamma \cos\varepsilon - \mathfrak{z} \sin\varepsilon \\
C &= a - \mathfrak{x} \cos\gamma - \mathfrak{y} \sin\gamma \\
\mathfrak{A} &= \mathfrak{z} \\
\mathfrak{B} &= \mathfrak{x} \sin\gamma \cos\varepsilon + \mathfrak{y} \cos\gamma \cos\varepsilon + \mathfrak{z} \sin\varepsilon \\
\mathfrak{C} &= a_1 - \mathfrak{x} \cos\gamma + \mathfrak{y} \sin\gamma
\end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots$$

761 Der Kegel

$$A\mathfrak{C} - \mathfrak{A}C = 0$$

wird

$$\mathfrak{z}\,[a_1 - a + 2\,\mathfrak{y} \sin\gamma] = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

und zerfällt also in die beiden Ebenen

$$\mathfrak{z} = 0 \text{ und } \mathfrak{y} = \frac{a - a_1}{2 \sin\gamma} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

Die Fläche

$$A\mathfrak{B} - \mathfrak{A}B = 0$$

wird

$$2\mathfrak{z}\,[\mathfrak{x} \sin\gamma \cos\varepsilon + \mathfrak{z} \sin\varepsilon] = 0$$

und zerfällt also in die beiden Ebenen

$$\mathfrak{z} = 0 \text{ und } \mathfrak{x} \sin\gamma + \mathfrak{z} \operatorname{tang}\varepsilon = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

Die Fläche endlich

$$B\mathfrak{C} - \mathfrak{B}C = 0$$

wird

$$-(\mathfrak{x} \sin\gamma \cos\varepsilon + \mathfrak{z} \sin\varepsilon)(a_1 + a - 2\mathfrak{x} \cos\gamma) + 2\mathfrak{y}^2 \cos\gamma \sin\gamma \cos\varepsilon$$
$$+ (a_1 - a)\,\mathfrak{y} \cos\gamma \cos\varepsilon = 0,$$

was die Gleichung eines Hyperboloids ist. Die Schnittlinie desselben mit der $\mathfrak{z} = 0$ ist

$$\left(\mathfrak{x} - \frac{a + a_1}{4 \cos\gamma}\right)^2 + \left(\mathfrak{y} + \frac{a_1 - a}{4 \sin\gamma}\right)^2 = \frac{1}{4} \cdot \frac{a^2 + a_1^2 - 2aa_1 \cos 2\gamma}{(\sin 2\gamma)^2}$$

ein Kreis, welcher durch die Punkte

$$\begin{aligned}
\mathfrak{x} &= 0 & \mathfrak{y} &= 0 \\
\mathfrak{x} &= a \cos\gamma & \mathfrak{y} &= a \sin\gamma \\
\mathfrak{x} &= a_1 \cos\gamma & \mathfrak{y} &= -a_1 \sin\gamma
\end{aligned}$$

hindurchgeht, der MÜLLER'sche Horopterkreis.

Die gerade Linie des Horopters ist demgemäfs die durch die beiden unter 8 b) und 8 c) aufgeführten Gleichungen gegebene Linie

$$\mathfrak{y} = \frac{a - a_1}{2 \sin \gamma} \text{ und } \mathfrak{x} \sin \gamma + \mathfrak{z} \operatorname{tang} \varepsilon = 0.$$

Ihr Schnittpunkt mit der Visirebene liegt auch im Horopterkreise, sie läuft der Medianebene $\mathfrak{y} = 0$ parallel. Die Entfernung des Schnittpunktes von den beiden Augenmittelpunkten ist die gleiche, nämlich

$$\frac{\sqrt{a^2 - 2aa_1 \cos 2\gamma + a_1^2}}{2 \sin \gamma} = \frac{b}{\sin \gamma},$$

enn wir die halbe Distanz der Augen von einander mit $b$ bezeichnen. Macht man

$$\mathfrak{x} = \frac{b}{\sin \gamma},$$

wird

$$\mathfrak{z} = - \frac{b}{\operatorname{tang} \varepsilon}.$$

Diese letztere Gröfse ist aber die Entfernung der Horopterfläche unter der 762
isirebene, wenn beide Gesichtslinien der Medianebene parallel sind, und so ergiebt ch die oben angegebene Construction der geraden Horopterlinie.

Geschichtliches. Die Frage über den Grund des Einfach- und Doppeltsehens t schon sehr alt. Schon GALENUS[1] (geb. 113 p. C.) machte zur Erklärung des ersteren ie Annahme, dafs sich Sehnervenfasern im Chiasma der Sehnerven verbänden. Dieser natomischen Hypothese schlossen sich später an I. NEWTON,[2] ROHAULT,[3] HARTLEY,[4] V. H. WOLLASTON,[5] JOH. MÜLLER.[6] Eine zweite Ansicht suchte die Schwierigkeit durch ie Annahme zu beseitigen, dafs wir immer nur mit einem Auge auf einmal sähen. ieser Meinung war PORTA.[7] Ihm schlossen sich GASSENDI,[8] TACQUET, GALL und DU TOUR[9] n. Letzterer berief sich dabei namentlich auf die Phänomene des Wettstreits zwischen eiden Gesichtsfeldern und beschränkte die Annahme auch dahin, dafs bald gleichitig mit beiden Augen, bald nur mit einem gesehen werden sollte.

Die dritte davon verschiedene Ansicht war die sogenannte Projectionstheorie, obei das Einfachsehen für einen Act unseres Verständnisses der Gesichtsempfindungen klärt wird. In ihrem Sinne äufsert sich schon KEPPLER;[10] mit ihm gleichzeitig stellte GUILONIUS[11] die Theorie auf, dafs wir die Gesichtsbilder immer auf eine gewisse durch en Fixationspunkt gehende Ebene projicirten, die er den Horopter nannte, und dafs e einfach oder doppelt erschienen, je nachdem ihre Projection einfach oder doppelt

[1] GALENUS, *De usu partium.* Lib. X. cap. 12.
[2] I. NEWTON, *Opticks.* 1717. p. 320. Query 15.
[3] ROHAULT, *Traité de physique.* Paris 1671 und 1682. Part. I, cap. 31.
[4] HARTLEY, *Observations on man.* I, 207.
[5] W. H. WOLLASTON, *Phil. Trans.* 1824. I, 222.
[6] J. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig 1826.
[7] PORTA, *De refractione.* p. 142. 1593.
[8] GASSENDI, *Opera.* Vol. II. p. 395.
[9] TACQUET, GALL und DU TOUR, *Acta Paris.* 1743. p. 334. *Mem. des savants étrang.* III, 514 499. V 677
[10] KEPPLER, *Dioptrice.* Propos. LXII.
[11] AGUILONIUS, *Opticorum* Libri VI. Antwerp. 1613.

wäre. Näher an KEPPLER's Ansicht schließt sich PORTERFIELD an, indem er meint, wir sähen die Objecte nicht doppelt, weil jedes Auge sie an ihren richtigen Platz verlegt; was später dann so formulirt wurde, daß wir sie in den Kreuzungspunkt der Visirlinien verlegen. In dieser Form ausgesprochen, würde das Gesetz mit der Existenz der Doppelbilder im Widerspruch sein. PORTERFIELD erwähnt wohl solche, die bei einer durch Druck oder Zerrung herbeigeführten Zwangsstellung des Auges eintreten, setzt hier aber voraus, daß ein Irrthum über die Stellung des Auges stattfinde.

Diese drei Ansichten liegen auch den neueren Theorien meist mehr oder weniger vermischt zu Grunde; ein wesentlicher Fortschritt geschah aber durch genauere Untersuchungen der thatsächlichen Verhältnisse.

Das Gesetz der Erscheinungen wurde zuerst genauer und im Wesentlichen richtig von J. MÜLLER[1] formulirt, indem er das Einfachsehen und Doppeltsehen davon abhängig machte, ob sich die Bilder des betreffenden Punktes auf identische oder nicht identische Punkte beider Netzhäute entwerfen. Für die Lage der identischen Punkte gab er die der Hauptsache nach richtige Regel, daß sie von der Mitte der Netzhäute in gleicher Richtung gleich weit entfernt lägen. Er spricht sich dabei nicht mit Bestimmtheit für eine besondere anatomische Hypothese (Vereinigung der identischen Fasern im Chiasma der Sehnerven oder im Gehirn) aus, behauptet aber, der Grund der Identität müsse ein organischer sein.

Genauere Bestimmungen der Lage der identischen oder correspondirenden Punkte wurden später namentlich von VOLKMANN[2] gegeben. Mit der beobachteten Lage der identischen Punkte war aber die Annahme des AGUILONIUS, daß der Horopter eine Ebene sei, unverträglich. Schon VIETH[3] und JOH. MÜLLER hatten eingesehen, daß sein
763 Schnitt mit der Visirebene ein durch den Fixationspunkt und die beiden Augen gehender Kreis sein müsse. Später zeigten A. P. PREVOST[4] und BURCKHARDT, daß in den Augenstellungen ohne Raddrehung zu dem MÜLLER'schen Kreise noch eine gerade Linie komme, daß der Horopter also überhaupt im Allgemeinen keine Fläche sei. HERING[5] erwies, daß der Horopter im Allgemeinen immer eine Linie sein müsse; damit war seine Bedeutung im Sinne des AGUILONIUS aufgehoben. Die allgemeine Lösung des Horopterproblems, welche noch die Kenntniß des Augenbewegungsgesetzes erfordert und übrigens eine rein mathematische Aufgabe war, habe ich selbst und Herr E. HERING fast gleichzeitig gegeben.[6] Daran schließt sich dann noch eine Arbeit von

---

[1] J. MÜLLER, *Beiträge zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig 1826. p. 71. *Lehrbuch der Physiologie.* 1840. II, 376—87.

[2] A. W. VOLKMANN, *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.* Zweites Heft. Leipzig 1864.

[3] VIETH, *Gilbert's Annalen.* LVIII, 233.

[4] A. P. PREVOST, *Essai sur la théorie de la vision binoculaire.* Genève 1843; und *Poggendorff's Annalen.* 1844. Bd. LXII, S. 548.

[5] HERING, *Beiträge zur Physiologie.* Heft III, S. 196—199. Leipzig 1863. Heft IV, 1864.

[6] Meine erste Mittheilung wurde gemacht der naturhistorisch-medicinischen Gesellschaft zu Heidelberg am 24. October 1862, das Manuscript eingereicht am 8. November 1862. Darin sind zum ersten Male Gleichungen für die Form des Horopters im allgemeinen Falle gegeben, freilich noch nicht in ihrer einfachsten Form, indem er als Schnittlinie einer Fläche zweiten und einer vierten Grades ausgedrückt ist. Auch ist darin noch nicht die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane berücksichtigt. Die Gestalt des Horopters im allgemeinen Falle ist darin kurz beschrieben. Ehe diese nur als vorläufige betrachtete Mittheilung durch den Druck veröffentlicht war (Herbst 1863), erschien das 3. Heft der Beiträge zur Physiologie von Herrn E. HERING, worin der Nachweis geführt war, daß der Horopter jedenfalls immer mindestens eine Linie (wenn nicht Fläche) sein müsse, die Gestalt desselben aber nur für die schon früher behandelten einfacheren Fälle wirklich bestimmt war. Dann folgte mein Aufsatz über den Horopter im Archiv für Ophthalmologie X, 1, S. 1—60, dessen Correctur schon Mitte März 1864 vollendet war, worin der Horopter als Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades dargestellt und der Einfluß der Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane erörtert ist. Ohne Kenntniß dieser Arbeit zu haben, hat Herr E. HERING im Juni 1864 sein 4. Heft zum Druck gesendet, welches ebenfalls die Rückführung auf die Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades enthält mit Benutzung der hierzu sehr geeigneten STEINER'schen Geometrie. Die dabei gegen meine erste Arbeit gerichtete Kritik beruht wesentlich auf dem Mißverständnisse, daß ich von dem geredet habe, was ich oben Horopter, Herr HERING von dem, was ich die Horoptercurve genannt habe, und daß beides nicht ganz identisch ist, wie ich in Poggendorff's Annalen CXXIII S. 158—161 auseinandergesetzt habe. Endlich enthält die

H. HANKEL,[1] in welcher eine ausführlichere analytische Behandlung des Problems gegeben ist, aber ohne Berücksichtigung der hier sehr einflußreichen Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane.

Daneben ist dann seit WHEATSTONE's Erfindung des Stereoskops die Aufmerksamkeit der Forscher hauptsächlich mit der Verschmelzung der Doppelbilder beschäftigt gewesen, weil sich an diese namentlich die theoretischen Fragen anknüpfen über die Art des Zusammenwirkens beider Augen. Diese theoretischen Fragen können wir erst am Schlusse des nächsten Paragraphen besprechen. Den großen Einfluß, welchen die Bewegung der Augen auf die Verschmelzung der disparaten Bilder körperlicher Objecte und stereoskopischer Zeichnungen habe, zeigte zunächst BRÜCKE;[2] daß dagegen eine solche Verschmelzung auch bei absoluter Vermeidung aller Augenbewegungen doch auch vorkommen kann (wenn auch in viel geringerem Grade), bewies DOVE[3] durch Anwendung der elektrischen Beleuchtung, Beobachtungen, welche später durch VOLKMANN,[4] AUGUST[5], RECKLINGHAUSEN[6] mit abgeänderten Methoden wiederholt und bestätigt wurden. Über die Grenze und die Bedingungen der Verschmelzung enthalten namentlich die Arbeiten von PANUM[7] und VOLKMANN[8] eine große Menge sorgfältig gemachter Beobachtungen 764
und Messungen. Der viel bestrittene Versuch von WHEATSTONE, wonach die Eindrücke identischer Punkte zur Ausfüllung verschiedener Stellen des Anschauungsbildes von den wahrgenommenen körperlichen Objecten gebraucht werden können, wurde einerseits bestätigt durch NAGEL[9] und WUNDT.[10] Andererseits wurde dagegen hervorgehoben, daß man bei hinreichender Aufmerksamkeit und Anwendung passender Mittel, um die Doppelbilder leichter sichtbar zu machen, auch immer die Bilder getrennt sehen könne, von VOLKMANN,[11] E. HERING,[12] W. BEZOLD.[13] Daß beides nicht nothwendig im Widerspruch steht, habe ich oben erörtert.

## § 32. Wettstreit der Sehfelder.

In den beiden vorausgehenden Paragraphen haben wir gesehen, daß 766
wir beim unbefangenen zweiäugigen Sehen Bilder körperlicher Objecte in den Raum vor uns projiciren, daß wir aber auch andererseits, wenn wir auf das gemeinschaftliche Gesichtsfeld unserer Augen als solches achten, die

---

5. Heft von HERING's Beiträgen wieder eine Kritik meiner zweiten Arbeit, aus der ich nur einen Punkt (S. 350) erwähnen will, in welchem Herr HERING in der That Recht hat; daß nämlich auf S. 44 meiner Abhandlung der Winkel $\eta$ allgemein gleich $\eta_1$ gesetzt worden ist. Es ist das eine Flüchtigkeit, die mir bei der letzten, vor einer Reise sehr eilig gemachten Überarbeitung des Aufsatzes untergelaufen ist, in dem Streben die mathematische Abtheilung möglichst zusammenzudrängen. Ich hatte vorher die beiden Fälle, in denen jene Behauptung richtig ist, einzeln behandelt und der Fehler hat also auch weiter keinen Einfluß auf die Richtigkeit der Consequenzen. Die übrigen Ausstellungen, welche Herr HERING macht, haben theils nur persönliches Interesse, und werden von Lesern, die sich für dergleichen interessiren sollten, ohne weitere Erörterungen meinerseits leicht erledigt werden, theils können sie nur durch vielfach wiederholte Beobachtungen vieler Individuen entschieden werden Was ich von solchen habe beibringen können, ist oben geschehen.

[1] H. HANKEL, *Poggendorff's Annalen.* CXXII, 575—588.

[2] BRÜCKE, *Müller's Archiv für Anatomie und Physiologie.* 1841. S. 459.

[3] DOVE, *Monatsber. d. Berl. Akad.* 1841, 29. Juli.

[4] VOLKMANN, *Leipz. Berichte.* 1859, S. 90—98

[5] AUGUST, *Poggendorff's Annalen.* CX, 582—593.

[6] RECKLINGHAUSEN, *Ebenda.* CXIV, 170—173.

[7] PANUM, *Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen.* Kiel 1858; und in *Reichert und Du Bois-Reymond's Archiv.* 1861. 63 227

[8] VOLKMANN, *Archiv für Ophthalmologie.* II, 2, 1—100; und *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.* Heft II.

[9] NAGEL, *Das Sehen mit zwei Augen.* Leipzig und Heidelberg 1861.

[10] WUNDT, *Henle und Pfeuffer Zeitschr. für ration. Medicin.* (3) XII, 249.

[11] VOLKMANN, *Archiv für Ophthalmologie* II, 2, S. 72—86.

[12] E. HERING, *Beiträge zur Physiologie.* Heft II, S. 81—131.

[13] W. BEZOLD, *Sitzungsber. d. Bayrischen Akad. d. Wissensch.* Math. Phys. Klasse. 10. Dec. 1864.

beiden verschiedenen perspectivischen Projectionen, welche von den Objecten auf unseren Netzhäuten entworfen werden, als einander superponirt in der Fläche des gemeinsamen Gesichtsfeldes erblicken können. Die erste Art des Sehens tritt vorzugsweise ein beim Sehen körperlicher Objecte, wenn unsere Aufmerksamkeit den Gegenständen zugewendet ist. Wir wenden dann immer die Gesichtslinien beider Augen demjenigen Objecte zu, auf welches sich unsere Aufmerksamkeit zur Zeit richtet, und wir sehen dieses also immer einfach und deutlich, und die ferner oder näher liegenden Gegenstände, welche zur Zeit im mehr oder weniger indirecten Sehen doppelt erscheinen könnten, bleiben unbeachtet. Um Doppelbilder zu sehen, müssen wir auf unsere Gesichtseindrücke als solche achten und zu abstrahiren suchen von den wahrgenommenen Objecten. Am ungestörtesten werden die Doppelbilder und die entsprechenden Erscheinungen der Congruenz oder Incongruenz der einzelnen Punkte beider Sehfelder beobachtet, wenn man nicht nach wirklichen Objecten hinsieht, sondern nach zwei verschiedenen Zeichnungen mit verschiedenartig gefärbten oder erleuchteten Linien und Feldern, wie dergleichen von uns gebraucht wurden, um die correspondirenden Stellen der Gesichtsfelder zu finden.

In den bisherigen Fällen waren die Doppelbilder, welche gesehen wurden, mehr oder weniger ähnlich den Bildern, welche man gelegentlich von einem und demselben äufseren Objecte erhalten kann, und uns deshalb geläufig und bekannt als Zeichen eines nicht im Horopter liegenden Objectes, so dafs wir mittels derselben sogar die Entfernung des ihnen entsprechenden Objects noch annähernd richtig beurtheilen konnten.

767 Wir haben nun noch die Fälle zu untersuchen, wo beide Gesichtsfelder gefüllt sind mit ganz verschiedenartigen Formen, welche keine Combination zu dem Bilde eines Körpers zulassen. In solchen Fällen sieht man im Allgemeinen beide Bilder gleichzeitig und im Gesichtsfelde einander superponirt. Aber gewöhnlich herrscht in einzelnen Theilen des Gesichtsfeldes mehr das eine Bild vor, in anderen mehr das andere; und unter Umständen wechselt das auch, so dafs, wo eine Zeit lang nur Theile des einen Bildes sichtbar waren, nun die Theile des anderen hervortreten und jene ersteren verdrängen. Diesen Wechsel, in welchem die Theile beider Bilder bald neben einander, bald nach einander sich gegenseitig verdrängen, pflegt man den Wettstreit der Sehfelder zu nennen.

Am einfachsten und regelmäfsigsten sind diejenigen Fälle, wo das eine Sehfeld in ganzer Ausdehnung gleichmäfsig gefärbt oder erleuchtet ist; man bemerkt dann nur die Objecte, welche das andere Sehfeld enthält. Wenn man also zum Beispiel ein Auge schliefst und mit dem anderen das bedruckte Blatt ansieht, so sieht man die Buchstaben und das weifse Papier im Sehfelde, ohne das Dunkel des anderen Sehfeldes zu bemerken. Dabei ist zu beachten, dafs das Papier dabei nicht gerade entschieden dunkler aussieht, als wenn man es mit beiden Augen betrachtet. Das Schwarz des einen Feldes mischt sich also nicht mit dem Weifs des

anderen, sondern hat eben weiter gar keinen Einflufs auf die Erscheinung des anderen Bildes.

Ebenso ist es nun, wenn man das bisher verschlossene Auge öffnet und ein Blatt weifsen Papiers nahe davorhält, so dafs das bisher dunkle Sehfeld gleichmäfsig weifs beleuchtet wird. Auch dann sieht man die Buchstaben im anderen Felde unverändert, und wenn das gleichmäfsig weifse Papier nicht heller ist als das bedruckte, so erscheint letzteres auch nicht heller, wenn das andere Sehfeld gleichmäfsig weifs, als wenn es gleichmäfsig schwarz ist. Wenn man sich aber so wendet, dafs das weifse vor das eine Auge gehaltene Papier lebhaft von der Sonne beschienen wird, so erhält man allerdings beim Öffnen des betreffenden Auges den Eindruck, dafs das bedruckte Papier heller wird, wenn das andere Sehfeld erleuchtet wird, als wenn es dunkel bleibt.

Ähnlich verhält es sich nun auch, wenn nur gröfsere Theile des einen Sehfeldes gleichmäfsig beleuchtet, in dem entsprechenden Theile des anderen aber Figuren enthalten sind. Betrachtet man zum Beispiel die folgenden Buchstaben

AB BC

so, dafs die beiden *B* auf einander fallen und einfach gesehen werden, so erscheinen sie wie

ABC

und zwar so, dafs das *A* und *C* nicht merklich dunkler sind, als das doppeläugig gesehene *B*. In diesem Falle also ist links vom *B* nur das linke
Gesichtsfeld beachtet worden, welches das *A* enthält, und rechts vom *B* 768
tritt das *C* des rechten Sehfeldes hervor, während der gleichmäfsig weifse Grund des anderen Feldes sich nicht merklich geltend macht.

Wenn nun in beiden Sehfeldern breitere schwarz und weifse Figuren vorkommen, deren Grenzlinien in dem gemeinsamen Sehfelde sich gegenseitig durchschneiden, so ergiebt sich im Allgemeinen die Regel, dafs längs und in der Nähe jeder Grenzlinie dasjenige Sehfeld prädominirt, dem diese Grenzlinie angehört. Bringt man also zum Beispiel die beiden schwarzen Streifen der *Fig. V, Taf. VIII*, zum Decken, so dafs die weifsen Punkte in ihrer Mitte zusammenfallen, so entsteht ein Gesammtbild, wie es *Fig. 252* etwa darstellt. Die beiden Streifen erscheinen als Kreuz, dessen Mitte ganz schwarz ist, weil hier Schwarz und Schwarz sich decken. Der Grund erscheint weifs, weil auf ihm Weifs und Weifs sich decken. In den vier Schenkeln des Kreuzes deckt sich jedesmal Weifs des einen Feldes mit Schwarz des anderen; sie erscheinen aber keineswegs gleichmäfsig erhellt durch eine Mischung dieses Schwarz und Weifs. Vielmehr sind sie fast ganz schwarz an ihren Enden, wo sie an den weifsen Grund stofsen, und

fast ganz weifs, wo sie an das mittlere schwarze Quadrat stofsen, und dazwischen sind Übergänge des Schwarz in Weifs, die aber keineswegs eine ruhige Beleuchtungsart behalten und sich deshalb auch durch keinerlei bildliche Darstellung vollkommen wiedergeben lassen, sondern mannigfach wechseln. Das Ende jedes Streifens fällt zusammen mit einem Theil des gleichmäfsig weifsen Grundes des andern Gesichtsfeldes, und verdrängt diesen, so dafs es fast ganz schwarz erscheint. Nahe der Mitte jedes Streifens aber laufen über ihn die Grenzlinien des anderen aus dem anderen Sehfelde hin, und hier tritt also das Weifs des anderen Feldes längs der Grenzlinie auf dem Schwarz des erstgenannten Streifens deutlich hervor.

In den bisher betrachteten Fällen standen sich immer gegenüber eine Figur mit bestimmten Contouren und ein ganz leeres gleichmäfsiges Feld. Dabei zeigte sich, dafs die Contouren sich immer sichtbar machen und den Eindruck des leeren Feldes verdrängen. Setzen wir nun statt des ganz

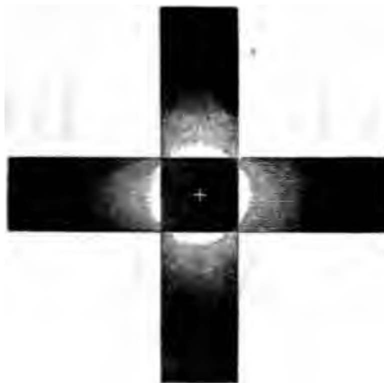


*Fig. 252.*

leeren Feldes ein solches, welches ein feines gleichmäfsig wiederholtes Linien-
769 muster enthält, richten wir zum Beispiel das linke Auge auf das schwarze Kreuz der *Fig. W, Taf. VIII,* und gleichzeitig das rechte auf das carrirte Feld, so überwiegt im ersten Augenblick auch hier in der Regel das Kreuz so, als ob wir es auf einen reinen Grund projicirten, und nur in seiner Mitte und jenseits seines Umfanges wird vielleicht das Linienmuster sichtbar. Betrachten wir es ohne bestimmte Richtung unserer Aufmerksamkeit längere Zeit in dieser Weise, so tritt zeitweilig das Linienmuster auch wohl über das ganze Feld hervor und verdeckt das ganze Kreuz oder wenigstens einzelne Theile desselben. Dagegen mufs ich hervorheben, dafs ich mich jeden Augenblick im Stande finde, meine Aufmerksamkeit jedem Theile des Linienmusters, auch denen, die gerade auf den Rand des Kreuzes fallen, willkürlich und ausschliefslich zuzuwenden, und dafs ich dann nur das Linienmuster sehe, während das Kreuz meist ganz schwindet. Ich brauche nur eine Reihe von Quadraten des Linienmusters zu zählen, oder die Quadrate zu vergleichen, ob sie gleich grofs, ob sie rechtwinkelig sind und so weiter.

Während und so lange ich in dieser Weise meine Aufmerksamkeit fest auf die Quadrate fixire, bleiben sie mir auch im Gesicht. So wie ich im Gegentheil eine Ecke oder Seite des Kreuzes in ähnlicher Weise beobachte, verschwindet das Linienmuster mehr oder weniger vollständig, und ich sehe anhaltend das Kreuz.

Der Wettstreit wird noch auffallender, wenn die beiden sich deckenden Figuren gleich stark hervortretende Contouren haben. Bringt man zum Beispiel die beiden Linienpaare der *Fig. 253* zum Decken, so pflegen die meisten Beobachter im Anfang nur die senkrechten Linien an der Kreuzungsstelle zu sehen, während die horizontalen im Zwischenraum der Verticallinien oder auch selbst noch aufserhalb dieses Zwischenraums verschwinden. Bei längerem Fixiren tauchen sie von Zeit zu Zeit auf, während dafür die verticalen verschwinden und umgekehrt. Aber auch hier kann ich beliebig das Bild des einen oder anderen Paares festhalten, wenn ich meine Auf-

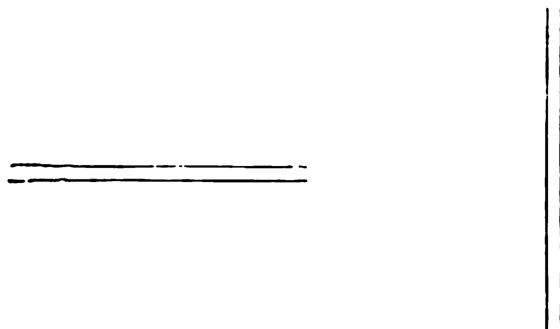


*Fig. 253.*

merksamkeit darauf richte und etwa untersuche, ob irgend welche Unregelmäfsigkeiten an den Linien des einen oder anderen Paares vorkommen.

In complicirterer Weise zeigt sich derselbe Wettstreit an den mit verschieden gerichteten parallelen Linien bedeckten Feldern der *Fig. X, Taf. VIII.* Man sieht hier keine gleichmäfsige Kreuzung der Linien in dem Gesammt- 770
bilde, wodurch ein ähnliches Linienmuster, wie das der *Fig. W* derselben Tafel, sich zusammensetzen würde; sondern man sieht meist eine ungleichmäfsige Mischung beider Muster, so dafs an einzelnen Stellen des Feldes das eine, an anderen das andere vorherrscht, wobei diese Stellen selbst übrigens einem fortdauernden Wechsel unterworfen sind. Die schwarzen Quadrate in der Mitte der Felder sollen als Fixationszeichen dienen, wenn der Beobachter eine unveränderte Lage beider Felder über einander zu erhalten wünscht. Ohne einzelne correspondirende und stark hervorstechende Theile der Figur ist dies sonst gar nicht möglich, vielmehr schwanken die Blicklinien dann fortdauernd zwischen verschiedenen Graden der Convergenz hin und her.

Zuweilen tritt auch wohl in ganzer Ausdehnung der Fläche das eine

System allein für kurze Zeit auf. Auch hier finde ich, daſs ich vollkommen willkürlich im Stande bin, meine Aufmerksamkeit bald dem einen, bald dem anderen Liniensysteme zuzuwenden, und daſs dann dieses System für einige Zeit allein gesehen wird und das andere vollkommen verschwindet. Dies geschieht zum Beispiel, wenn ich versuche die Linien erst des einen und dann des anderen Systems zu zählen. Ich finde ferner, daſs dieses Beachten des einen Liniensystems auch nicht von bestimmten Augenbewegungen abhängig ist; denn ich kann meinen Blick sowohl an den Linien, auf die ich achte und die ich sehe, entlang gleiten lassen, als auch rechtwinkelig gegen ihre Richtung und also parallel der Richtung des anderen Systems fortführen, so daſs ich von einer Linie zur anderen gehe, ohne daſs ich aufhöre, nur das System zu sehen, welches ich sehen will. Aber allerdings finde ich, wie Wundt, daſs es leichter ist, das Bild derjenigen Linien festzuhalten, deren Richtung man mit dem Blicke folgt; in der That ist dies auch die gewöhnliche Art unsere Aufmerksamkeit einer Linie zuzuwenden, daſs wir den Blick an ihr entlang laufen lassen, und indem wir die Bewegung unserer Augen absichtlich nach der Linie richten, sind wir auch sicher, unsere Aufmerksamkeit an die Linie zu fesseln.

Es ist aber allerdings schwer, die Aufmerksamkeit längere Zeit an eines der Liniensysteme von *Fig. W*, *Taf. VIII*, zu fesseln, wenn man nicht damit irgend einen bestimmten Zweck verbindet, der eine fortdauernde active Thätigkeit der Aufmerksamkeit bedingt, wie eben das Zählen der Linien oder die Vergleichung ihrer Zwischenräume und so weiter ist. Ein anhaltender Ruhezustand der Aufmerksamkeit ist ja auch unter anderen Verhältnissen kaum für einige Zeit zu unterhalten. Der natürliche ungezwängte Zustand unserer Aufmerksamkeit ist herumzuschweifen zu immer neuen Dingen, und so wie das Interesse eines Objectes erschöpft ist, so wie wir nichts Neues mehr daran wahrzunehmen wissen, so geht sie wider unseren Willen auf anderes über. Wollen wir sie an ein Object fesseln, so müssen wir eben an diesem selbst immer Neues zu finden suchen, besonders wenn andere kräftige Sinneseindrücke sie abzulenken streben. Durch diese Eigenthümlichkeit unserer psychischen Thätigkeit erklären sich, wie mir scheint, die oben beschriebenen Thatsachen.

Die letztgenannten Versuche kann man vielfach variiren; wenn man zum Beispiel das quadratische Muster der *Fig. W*, *Taf. VIII*, mit einem
771 danebengelegten Blatte bedruckten Papiers zur Deckung bringt, kann man ohne Schwierigkeit die Buchstaben lesen oder andererseits das Linienmuster betrachten. Dasselbe ist der Fall, wenn man eine fein ausgeführte Landkarte oder eine Photographie mit einem bedruckten Blatte zum Decken bringt; es müssen nur nicht die Zeichnungen der einen Seite durch Helligkeit allzu hervorstechend sein gegen die der anderen Seite, und auch einander nicht zu ähnlich. Wenn man zum Beispiel zwei verschiedene Druckblätter mit gleicher Art von Druck combinirt, so verbindet der Beobachter unwillkürlich Theile der einen Parthie von Buchstaben mit solchen der

anderen Seite doppeläugig, und dadurch mischen sich dann die Buchstaben beider Seiten leicht durch einander.

Ich will namentlich hier auch noch hervorheben, dafs es mir gelingt, ganz schwache und zart gezeichnete Objecte des einen Sehfeldes zu sehen und dauernd zu beobachten, selbst wenn sie sich mit sehr kräftig gezeichneten Contouren des anderen Feldes decken. So kann ich die Faserung und die kleinen Fleckchen eines weifsen Papierblattes verfolgen, während im anderen Felde stark gezeichnete schwarze Figuren stehen. Oder ich kann eine mit einem dünnen weifsen Blatte zugedeckte und kaum erkennbare Druckschrift lesen, welche sich binocular etwa mit dem Gitter oder dem Kreuze der *Fig. W, Taf. VIII* deckt. Oder ich kann mittels eines Spiegels, den ich vor das eine Auge halte, das helle Bild des Fensters zur binocularen Deckung mit einer verhaltnifsmafsig schwach erleuchteten Druckschrift bringen und diese lesen, ohne dafs sie mir jemals durch das viel hellere Bild des Fensters verdrängt wird. Natürlich kann ich ebenso gut das Spiegelbild des Fensters betrachten, wobei mir die Druckschrift verschwindet. Dafs man bei einem solchen Versuche sehr schwach beleuchtete Objecte des einen Feldes nicht immer erkennen kann, wenn das andere Auge auf ein sehr helles Feld gerichtet ist, findet seine Erklärung dadurch, dafs die Pupillen beider Augen unter dem Einflusse des hellen Lichts sich verengern und das Netzhautbild des dunkleren Feldes also wirklich noch sehr viel dunkler wird, als es ist, wenn das helle Bild verdeckt wird.

Aus den beschriebenen Erfahrungen geht hervor, dafs der Mensch die Fahigkeit hat, die Bilder jedes einzelnen Sehfeldes einzeln und für sich wahrzunehmen, ungestört von dem anderen Sehfelde, wenn es nur mittels eines der angegebenen Hilfsmittel gelingt, die Aufmerksamkeit ganz auf die Objecte dieses einen Feldes zu fesseln. Diese Thatsache ist wichtig, weil aus ihr hervorgeht, dafs *der Inhalt jedes einzelnen Sehfeldes, ohne durch organische Einrichtungen mit dem des anderen verschmolzen zu sein, zum Bewufstsein gelangt, und dafs die Verschmelzung beider Sehfelder in ein gemeinsames Bild, wo sie vorkommt, also ein psychischer Act ist.*

Um den Unterschied recht hervorzuheben, brauchen wir nur zu vergleichen die binoculare Verschmelzung der beiden schragen und verschieden gerichteten Liniensysteme der *Fig. X, Taf. VIII,* mit der monocularen Vereinigung beider in dem Liniensysteme der *Fig. W*. Wir konnen auch in dem letzteren die Linien des einen Systems zahlen oder ihre Abstande vergleichen, dabei werden aber niemals die Linien des anderen Systems aus dem Bilde verschwinden, wie dies bei der binocularen Vereinigung unter 772
diesen Bedingungen der Regel nach geschieht. Bei monocularer Betrachtung des combinirten Liniensystems der *Fig. W*, haben wir nur einen sinnlichen Eindruck, den wir durch keine Anstrengung der Aufmerksamkeit verandern können, wenn wir auch diese oder jene Zuge desselben vorzugsweise beachten. Verschmelzen die beiden entsprechenden Bilder der *Fig. X* wirklich

zu einem einzigen und einfachen sinnlichen Eindrucke, so würde dieser durch Anstrengung der Aufmerksamkeit allein in keiner Weise in seine Bestandtheile zu zerlegen sein. Charakteristisch ist es auch, daſs wenn man mittels einer unbelegten Glasplatte im monocularen Gesichtsfelde das Bild des hellen Himmels mit einem bedruckten Blatte zum Decken bringt, man bei gewissen Beleuchtungsgraden die Buchstaben nicht lesen kann, während man sie sehr wohl lesen kann, wenn man binocular den sehr viel stärkeren Reflex einer belegten Spiegelplatte mit ihnen zur Deckung bringt.

Der Wettstreit der Sehfelder, wie er sich bei binocularer Verschmelzung der obigen Bilder entwickelt, entspricht dem hin und herschwankenden Zustande der nicht angestrengten und nicht interessirten Aufmerksamkeit, die von einem Eindruck zum anderen zu wandern pflegt und so allmählich eine Übersicht der vorliegenden Objecte gewinnt. Daſs dieser Wechsel nicht auf einer organischen Einrichtung des Nervensystems beruht, wie Panum und E. Hering es auffassen, wenigstens auf keiner anderen, als die unseren Seelenthätigkeiten zu Grunde liegt, scheint mir evident aus der Thatsache der Selbstbeobachtung hervorzugehen, daſs wir durch die bekannten und oben genannten rein psychischen Mittel, die Aufmerksamkeit zu fesseln, das Schwanken sogleich anhalten können, ohne daſs dabei irgend eine bemerkbare Änderung der äuſseren Umstände, der Richtung oder Bewegung der Augen und so weiter, stattfindet. Panum hat darin Recht, daſs es nicht genügt, die Aufmerksamkeit auf das verschwindende oder verschwundene Bild richten zu wollen, wobei er die Aufmerksamkeit für eine dem bewuſsten Willen des Beobachters absolut unterthänige Thätigkeit erklärt. Das letztere ist nun doch nur in gewisser Beschränkung richtig. Wir bewegen unsere Augen auch willkürlich, aber ein Ungeübter kann die Absicht, sie convergiren zu lassen, nicht so unmittelbar ausführen. Wohl aber kann er in jedem Moment die Absicht ausführen, ein nahes Object anzublicken, wobei die Augen convergiren. Ebenso wenig können wir die Absicht unsere Aufmerksamkeit an einem bestimmten Objecte festzuhalten, wenn wir uns diese Absicht in dieser Form innerlich aussprechen, erreichen, sobald das Interesse an dem Objecte erschöpft ist; aber wir können uns neue Fragen in Bezug auf das Object stellen, so daſs ein neues Interesse daran entsteht, und dann wird die Aufmerksamkeit gefesselt bleiben. Das Verhältniſs ist also, wie bei dem oben genannten Beispiele; es ist keine unmittelbare, sondern eine mittelbare Willkür. Wir können durch unsern Willen Acte ausführen, bei denen das Auge oder die Aufmerksamkeit die Richtung erhält, die wir wünschen, obgleich wir nicht durch einen direct darauf gerichteten Willensact ohne Zwischenglieder die Richtung des Auges oder der Aufmerksamkeit bestimmen können. Dagegen trifft allerdings, wie ich wiederum gegen Panum behaupten muſs, die andere charakteristische Eigenschaft der
773 Aufmerksamkeit auch für den Wettstreit der Sehfelder zu, daſs sie durch geeignete Methoden an die allerschwächsten Sinneseindrücke gefesselt werden kann, während die allerstärksten im anderen Sehfelde sie abzulenken streben.

Natürlich ist dabei desto gröſsere Anstrengung nöthig, je ungünstiger das Verhältniſs der Stärke für die beachteten Eindrücke ist.

Da wir nun übrigens, wie die oben beschriebenen Versuche mit momentaner Beleuchtung deutlich zeigen, im Stande sind gleichzeitig eine gewisse Anzahl von Gegenständen zu beachten und dadurch einen gewissen Theil des Sehfeldes auszufüllen, so wird auch hierbei im Allgemeinen zu erwarten sein, daſs sich zunächst das Gesichtsfeld füllt mit denjenigen Objecten, die den stärkeren Eindruck machen, oder daſs bei gleich starken Reizen in beiden Sehfeldern ein Schwanken eintritt, oder ein Suchen nach einem zusammenhängenden und verständlichen Eindrucke, wobei denn nicht nothwendig immer im ganzen Gesichtsfelde nur der Eindruck des einen Auges vorzuherrschen braucht. Charakteristisch für dieses Suchen nach einem verständlichen Eindrucke ist auch das fortdauernde Schwanken der Blicklinien. Es ist kaum möglich, die beiden Bilder in gleicher Lage dauernd in Deckung zu halten.

Etwas Anderes ist es, wenn sich die beiden verschiedenen Bilder als sinnliches Zeichen eines äuſseren Objects betrachten lassen, dann wendet sich die Aufmerksamkeit sogleich der Wahrnehmung von diesem zu, ohne der Verschiedenheit der beiden Netzhautbilder zugelenkt zu werden.

Was nun den merkwürdigen Einfluſs der Contouren in dem Wettstreit der Sehfelder betrifft, so bin ich ebenfalls der Meinung, daſs derselbe im Wesentlichen auf psychischer Gewöhnung beruht. Erwägen wir nämlich, in welcher Weise unser Auge das Gesichtsfeld zu durchmustern hat, um eine vollständige Kenntniss desselben zu erhalten, so ist klar, daſs es ganz unnütze Mühe sein würde, dasselbe nach einander auf alle einzelnen Punkte einer ausgedehnten gleichmäſsig beleuchteten Fläche richten zu wollen; wir würden dadurch nichts weiter erkennen. Es genügt vielmehr den Blick über die Grenze der Fläche hinzuführen und auf alle diejenigen einzelnen Punkte zu richten, die sich von der Fläche abheben. Sobald dies geschehen ist, haben wir eine so genaue Kenntniss von der Fläche, als das Auge uns geben kann. Es sind deshalb namentlich die im indirecten Sehen sichtbaren Contouren, denen wir bei der Durchmusterung des Gesichtsfeldes erst unsere Aufmerksamkeit und dann unsern Blick zuzuwenden haben. Es ist bekannt, wie schwer es ist, einen kleinen Gegenstand, der im indirecten Sehen nicht bemerkt wird, auf einer ausgedehnten hellen Fläche aufzufinden; bezeichnend nennt zum Beispiele Goethe die Lerche „im blauen Raum verloren". Andererseits zieht ein etwas gröſserer und auch für das indirecte Sehen hinreichend scharf gezeichneter Gegenstand unmittelbar unseren Blick auf sich, und wenn man sich selbst bei der Betrachtung eines noch unbekannten Objects beachtet, wird man leicht bemerken, wie man mit dem Blicke den Contouren folgt. Gewöhnung und Übung müssen also nothwendig dahin wirken, unsere Aufmerksamkeit den Contouren zuzuwenden. Auch bei den Contrasterscheinungen habe ich darauf aufmerksam gemacht, wie die Contouren namentlich in das Gewicht fallen.

774 Man könnte auch daran deuken, dafs die Erregung der Netzhauttheile längs einer Grenze von Weifs und Schwarz lebhafter sei, so oft durch die Bewegungen des Auges Elemente der Netzhaut aus dem Schwarz in das Weifs rücken. Diese ausgeruhten Elemente würden allerdings stärker erregt werden, als die schon länger von Weifs getroffenen. Indessen glaube ich nicht, dafs dieser Umstand hier wesentlich in Betracht kommt, weil wir bei den oben beschriebenen Versuchen die Richtung der Augenbewegungen ohne entscheidenden Einflufs gefunden haben, und weil die Contouren in den Doppelbildern sich auch gleich beim ersten Aufschlag der Augen geltend machen, wo noch keine Nachbilder entwickelt sein können.

Panum's Annahme dagegen, dafs die Contouren an und für sich die Netzhaut stärker erregen, scheint mir durch keine einzige sichere Thatsache unterstützt uud zur Erklärung der hier vorliegenden Erscheinungen gänzlich unnöthig zu sein. Bei den Contrasterscheinungen haben wir allerdings gesehen, dafs der Unterschied der Beleuchtung oder Färbung zweier Felder längs einer Contour, wo beide zusammenstofsen, stärker hervortritt als wenn beide von einander getrennt sind, und sogar relativ zu grofs erscheint. Wenn wir aber von den Nachbildern absehen, so lassen sich die Erscheinungen des simultanen Contrastes darauf zurückführen, dafs wir besser geübt und sicherer sind in der Vergleichung der Beleuchtung zweier neben einander liegenden Netzhautpunkte, welche bei den Bewegungen des Auges viel häufiger unmittelbar hinter einander von derselben Beleuchtung getroffen werden, als dies bei entfernteren der Fall ist. Dafs uns ein solcher Unterschied relativ zu grofs erscheint und dadurch dann Irrthümer in der Beurtheilung der Färbungen entstehen, entspricht der allgemeinen Regel, dafs wir überhaupt deutlich wahrnehmbare Unterschiede für gröfser zu halten geneigt sind, als undeutlich wahrnehmbare. Man könnte einen solchen deutlicher wahrnehmbaren Unterschied vielleicht als einen stärkeren psychischen Reiz bezeichnen, und es mag zum Theil darin begründet sein, dafs er die Aufmerksamkeit stärker zu fesseln strebt. Einen stärkeren Nervenreiz dabei anzunehmen, vorausgesetzt, dafs Nachbilder vermieden werden, sehe ich keinen Grund.

Ähnliche Erscheinungen des Wettstreits treten nun auch ein, wenn beiden Augen verschiedenfarbige oder verschieden erleuchtete Felder dargeboten werden. Wenn man durch zwei verschiedenfarbige Gläser von lebhaften Farben, zum Beispiel mit dem rechten Auge durch ein rothes, mit dem linken durch ein blaues Glas, welche ungefähr gleiche Helligkeit haben, nach den äufseren Objecten sieht, so erblickt man diese fleckig roth und blau und zwar so, dafs die Farben oft wechseln. Der unruhige sonderbare Farbenwechsel ist anfangs meist am lebhaftesten, bald stumpft sich die Empfindlichkeit für die Farben ab und das Aussehen wird dann ein ruhigeres in einer unbestimmten mehr grauen Farbe, welche noch stellenweise und zeitweise zwischen einem röthlicheren oder blaueren Tone wechselt, und welche manche Beobachter für die Mischfarbe aus den beiden vereinigten, also in diesem Falle für Rosa erklären. Ich selbst mufs sagen, dafs ich

tz vieler und mannigfach veränderter Versuche in keinem Falle die schfarbe mit einiger Evidenz habe sehen können. Zum Theil bestimmen 775 :h die Eigenthümlichkeiten der Objecte, ob man mehr die eine oder die dere Farbe sieht. Hellere Objecte erscheinen überwiegend roth, dunklere .u, wohl deshalb, weil überhaupt bei gröfserer Lichtstärke Roth, bei ıwächerer Blau in der Empfindung überwiegt. Objectiv rothe Objecte erıeinen natürlich auch roth, blaue blau, weil ein jedes durch das gleichnige Glas gesehen heller erscheint, als durch das anders gefärbte. Auch :r spielt wieder die Aufmerksamkeit auf das eine oder andere Feld eine ırkliche Rolle. Obgleich es sehr schwer ist, die Aufmerksamkeit gerade r der Farbe des einen Feldes zuzuwenden, wenn sie dabei nicht unterstützt durch Contouren, die diesem Felde angehören, so gelingt es doch einzelnen obachtern (Funke,[1] J. Dingle, Voelckers,[2] Volkmann,[3] E. A. Weber,[4] elcker,[5] mir selbst), die Aufmerksamkeit auf das rechte Auge und was sieht, und dann ebenso auf das linke zu fixiren, wobei denn auf den ıjecten die Farbe des zugehörigen Glases zum Vorschein kommt. Fechner,[6] m der Wechsel durch willkürliche Anstrengung weniger gut gelang, glaubt :sen Wechsel von einer unwillkürlichen Bewegung oder Compression des .ges ableiten zu dürfen, welche nach seinen Beobachtungen nur überhaupt n Wechsel der Farbe begünstige, aber nicht gerade den Wechsel in der absichtigten Richtung. Sehr viel besser noch gelingt der Versuch, wenn ın die Gläser so hält, dafs Spiegelbilder schwach erleuchteter, seitwärts gender Gegenstände von ihnen in das Auge geworfen werden. So wie ın nun die Aufmerksamkeit einem dieser Spiegelbilder zuwendet, sei es ı noch so schwach sichtbares Schattenbild, so erscheint sogleich an der treffenden Stelle des Sehfeldes die Farbe des betreffenden Glases. Und :nn in derselben Stelle des Gesichtsfeldes gleichzeitig ein Spiegelbild des dern Glases sichtbar ist und man wendet diesem die Aufmerksamkeit zu, tritt auch die andere Farbe hervor.

Um diesen Versuch methodisch ausführen, stellte ich eine blaue und rothe asplatte (*B* und *R* in *Fig. 254*) senkrecht f einen Tisch; *C* ist ein dunkler Schirm, r an der nach *B* gekehrten Seite ein t Buchstaben bedrucktes Blatt trägt, ein eben solcher, an dessen innerer Seite ;end ein anderes mit den Buchstaben :ht leicht zu verwechselndes Muster, also wa eine Zahlentabelle angebracht ist. Bei

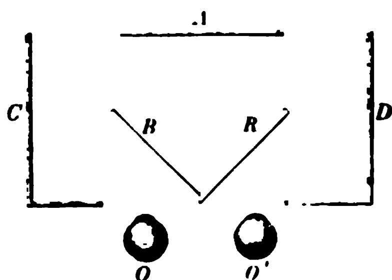


*Fig. 254*

[1] Funke, *Lehrbuch der Physiologie*. 1. Aufl. Bd. II, 875.
[2] Völckers, *Müllers Archiv*. 1838. p. 61 und 63.
[3] Volkmann, *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichts*. p. 97, 99.
[4] E. A. Weber, *Programma*. Colleg. 118.
[5] Welcker, *Über Irradiation* 1852. p. 107.
[6] Fechner, *Abhandlungen der Sächsischen Ges. d. Wiss.* VII. (1860) 399—408.

*A* befindet sich ein weifser Schirm, *O* nnd *O'* sind die Augen des Beobachters. Die Beleuchtung regelt man so, dafs die Buchstaben und die Zahlen, welche der Beobachter in ihren von den Glasplatten entworfenen
776 Spiegelbildern sieht, eben noch sichtbar sind, wenn der Bogen *A* stark beleuchtet ist. Scheinbar liegen für den Beobachter die Spiegelbilder der Buchstaben und Zahlen auf dem Bogen *A*. Ich sehe nun ganz regelmäfsig, wenn ich den Buchstaben mit dem Auge zu folgen suche, den Grund blau, wenn ich den Zahlen folge, dagegen roth. Also die auf das Bild der einen Netzhaut gerichtete Aufmerksamkeit bringt auch den zugehörigen farbigen Grund zum Vorschein. Hierbei ist noch zu bemerken, dafs die Contouren, welche in diesem Falle den einen Eindruck überwiegen machen, Grenzen von Weifs und Schwarz sind, ohne dafs die Intensität der sichtbar werdenden Grundfarbe an ihnen eine Veränderung erleidet. Oder wenn man die ganze gemischte Beleuchtung zusammennimmt, so erscheinen die Buchstaben links reinblau auf weifslichem Blau, die Zahlen rechts reinroth auf weifslichem Roth. Bei den Contrasterscheinungen würde die Aufmerksamkeit nur dem Gegensatz von Schwarz und Weifs, nicht dem Blau oder Roth zugelenkt werden, was bei den hier beschriebenen binocularen Versuchen gerade im Gegentheil geschieht.

Noch einfacher gelingt mir dieser Versuch sehr leicht und gut, wenn ich nach dem Himmel blicke und vor das eine Auge ein rothes, vor das andere ein blaues Glas nehme, beide aber so gegen die Gesichtslinien neige, wie in *Fig. 254*, dafs ich in jedem der Gläser schwache Spuren der Spiegelbilder seitlich gelegener Objecte sehe, und nun bald das eine, bald das andere Glas ein wenig bewege, so dafs sich auch die von ihnen entworfenen Spiegelbilder ein wenig bewegen. Achtet man auf diese bewegten Bilder, die übrigens ganz verwaschen und lichtschwach sein dürfen, so tritt sogleich am Himmel die Farbe des entsprechenden Glases heraus. Es ist ein wunderliches Schauspiel, wenn so plötzlich, wie auf Commando, der blaue Himmel ganz roth, oder der rothe ganz blau wird.

Ob bei der binocularen Deckung verschiedenfarbiger Felder die Mischfarbe gesehen werde, oder nicht, darüber sind verschiedene Beobachter direct entgegengesetzter Meinung. Während H. Meyer, Volkmann, Meissner, Funke, denen ich mich selbst auch anschliefsen mufs, niemals die Mischfarbe gesehen haben, erklären ebenso entschieden Dove, Regnault, Brücke, Ludwig, Panum, Hering, dafs sie sie gesehen haben, und zwar nicht blofs bei matten und weifslichen Farben, sondern selbst bei gesättigten. Dove berichtet, dafs er sie selbst an den allergesättigtesten Farben, denen des prismatischen Spectrum gesehen habe, indem er ein objectiv auf die Wand geworfenes Spectrum gleichzeitig mit einem umkehrenden und einem nicht umkehrenden Fernrohr binocular betrachtete. Aufserdem empfiehlt er als besonders geeignet Polarisationsfarben. Wenn man vor eine schwarze Glasplatte, die das Licht unter dem Polarisationswinkel reflectirt, dünne Glimmer oder Gypsblättchen in passender Lage anbringt, und vor das rechte

Auge ein Nicol'sches Prisma in der Lage hält, wo es das von der Glasplatte reflectirte Licht im Maximum durchläfst, vor das linke Auge ein ebensolches Prisma, um einen rechten Winkel gedreht, so dafs es das reflectirte Licht nicht durchgehen läfst, so sieht man mit beiden Augen die Krystallblättchen farbig, und zwar zeigen sie für beide Augen genaue Complementärfarben. Dove und Regnault haben nun in solchen Fällen diese Complementärfarben sich binocular zu Weifs vereinigen gesehen. Ich 777
habe diese Versuche wiederholt und mir sind sie regelmäfsig und vollständig mifslungen. Ich sehe sowohl mit spectralen als mit Polarisationsfarben genau denselben Wettstreit und Wechsel der verschiedenen einfachen Farben, ohne dafs die Mischfarbe zum Vorschein kommt, wie bei Pigmentfarben und den Farben gefärbter Gläser. Ich habe auch senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatten zu diesen Versuchen sehr vortheilhaft gefunden. Wenn man die Nicol'schen Prismen vor den Augen dreht, kommen neue Farben zum Vorschein. Ich sehe aber immer beide Farben getrennt, und gleichsam eine durch die andere, und kann immer augenblicklich angeben, ohne ein Auge zu schliefsen, welche Farben da sind. Zur Vergleichung mit den Farben hat man dabei den hellweifsen Grund der spiegelnden Platte, der die Mischfarbe zeigt, welche zum Vorschein kommen sollte, und eben deshalb ist es leicht, bei diesen Versuchen den grofsen Unterschied zwischen der binocularen Vereinigung verschiedener Farben und ihrer wirklichen Vereinigung zu erkennen.

Obgleich ich einsehe, wie mifslich es ist, so vielen ausgezeichneten und zuverlässigen Beobachtern in einer Sache zu widersprechen, in der vielleicht aufserordentlich grofse individuelle Unterschiede bestehen, so will ich hier doch einige Umstände anführen, welche bei meinen eigenen Versuchen zuweilen den Schein einer Mischfarbe hervorbrachten, während sich bei genauerer Untersuchung herausstellte, dafs für mein Auge wenigstens eine solche nicht vorhanden war.

Zuerst ist folgendes zu bemerken: wenn man die binoculare Combination zweier Farben vor sich hat und aufserdem auch noch beide Componenten einzeln, wenn man also z. B. mit parallelen Augenaxen nach einem blauen Felde blickt, welches seitwärts an ein rothes anstöfst, so dafs ein Doppelbild der Grenzlinie erscheint und auf der einen Seite sich Blau mit Blau, auf der andern Roth mit Roth, in der Mitte aber Roth mit Blau deckt, so unterscheidet sich das mittlere Blau von dem reinen Blau an seiner Seite allerdings dadurch, dafs zu ihm im Gesichtsfelde auch noch mehr oder weniger Roth hinzukommt, und Jemand, der die Mischungsregeln der Farben kennt und gewöhnt ist, aus Blau und Roth sich Violett oder Purpur zusammensetzen zu sehen, könnte dies mit Roth zusammengesetzte Blau nun wohl für Violett erklären. Auch kommt es ja selbst im monocularen Felde vor, dafs wirklich bestehendes Violett vermittels des Contrastes gegen nebenstehendes Blau, oder weil das Blau einer über die Farben hingebreiteten Decke oder der Gesammtbeleuchtung des Feldes anzugehören scheint, vom Beobachter

in Blau und Roth aufgelöst wird. Wir haben Beispiele der Art § 24 besprochen. Es kann also wirklich monocular zu Violett vereinigtes Roth und Blau unter Umständen so getrennt erscheinen, wie das binocular sich deckende für meine Augen immer erscheint, und dadurch kann ein solcher Beobachter vielleicht verleitet werden zu glauben, dafs wo er Blau und Roth gleichzeitig sieht, dafs da Violett oder Purpur sei. Wenn man nun aber die wirkliche Mischfarbe der beiden gesehenen Farben zur Erscheinung bringt, so tritt der Unterschied schlagend hervor. Die beste und
778 genaueste Methode die Mischfarbe hervorzubringen, ist folgende. Man legt zwei blaue und zwei rothe quadratische Felder wie die eines Schachbretts zusammen, so dafs z. B. das rechte obere und linke untere blau, das linke obere und rechte untere roth sind. Dann bringt man vor jedes Auge ein doppeltbrechendes achromatisirtes Kalkspathprisma in derjenigen Stellung, dafs es über einander liegende Doppelbilder giebt. Indem die Doppelbilder der farbigen Felder sich theilweis über einander schieben, entsteht für jedes Auge längs der horizontalen Trennungslinie der farbigen Felder ein aus Roth und Blau monocular gemischter, also rosarother Streifen. Jetzt blickt man mit parallelen Gesichtslinien nach den Feldern hin, so dafs ihre Bilder sich binocular über einander schieben. Dann hat man oben rechtes Blau und linkes Roth sich deckend, in der Mitte Rosaroth mit Rosaroth, unten rechtes Roth mit linkem Blau. Unter diesen Umständen ist es für meine Augen ganz deutlich, dafs in der binocularen Combination von Blau und Roth keine Spur von dem Rosenroth, wie es der mittlere Streifen zeigt, enthalten ist, sondern nur die beiden einzelnen Farben getrennt.

Panum legt Gewicht darauf, dafs die binocular zu mischenden Farben nicht zu lebhaft und nicht zu verschieden sein dürfen, weil sonst der Wettstreit der Sehfelder zu lebhaft und unruhig sei, und man dadurch verhindert werde, die Mischfarbe zu erkennen. Ich habe deshalb nach der bei den Contrasterscheinungen schon früher beschriebenen Methode von H. Meyer die zu combinirenden farbigen Felder mit feinem weifsen Papier überdeckt, so dafs durch das Papier die unterliegenden Farben nur schwach durchschimmerten. Als ich nun diese sehr weifslichen Farben zur Deckung brachte, glaubte ich in der That zuerst wirklich eine Mischfarbe zu sehen. Indessen wenn ich die wirkliche Mischfarbe der beiden Felder auch noch daneben brachte, erkannte ich wieder den Wettstreit der Sehfelder in den binocular gedeckten Feldern.

Zuweilen gelingt es, unter einer Auswahl farbiger und grauer Papiere einzelne zu finden, die genau die Mischfarbe zweier anderen, wie sie durch ein doppeltbrechendes Prisma hergestellt wird, darbieten; dann werden die Versuche noch leichter und schlagender. Ich legte neben einander ein Blatt von grünem und rosenrothem Glanzpapier, so dafs ihre Grenzlinie vertical war. Quer darüber, also horizontal, legte ich einen Streifen grauen Papiers, welches der Mischfarbe von jenen beiden Farben entsprach. Das Ganze wurde mit feinem weifsen Papier überdeckt. Wenn ich nun diese Felder

mit einem doppeltbrechenden Prisma so ansah, dafs die Doppelbilder horizontal auseinander geschoben wurden, so deckte sich längs des horizontalen grauen Streifens Grau mit Grau, darüber und darunter in der Mitte Rosa mit Grün, welche ebenfalls Grau gaben, und dieses letztere Grau ging ununterscheidbar über in das Grau des horizontalen Streifens. Wenn ich aber nach Entfernung des doppeltbrechenden Prisma binoculare Doppelbilder erzeugte, so hob sich der Streifen, wo Grau auf Grau lag, sehr entschieden ab von dem, wo Rosa auf Grün lag, und im letzteren erschienen wieder die beiden Farben neben einander. Nahm ich aber den mittleren grauen Streifen fort, so erkannte ich den Wettstreit der Sehfelder nicht mehr deutlich und bemerkte dann in diesem Felde nur das Gemeinsame beider Farben, nämlich das Weifs.

In andern Fällen sind es Nachbilder, die eine scheinbare Mischung 779
hervorbringen. Dazu läfst sich sehr gut die eben beschriebene Anordnung benutzen: oben ein grauer Streifen, unten rechts grün, links rosenroth, welche beide letzteren Farben, durch das doppeltbrechende Prisma gemischt, das obere Grau geben. Ich bringe die beiden unteren Felder zur binocularen Deckung und sehe anfangs nur lebhaften Wettstreit zwischen ihnen. Wenn ich aber lange anhaltend fixire, fängt endlich das binocular gemischte Feld an, dem oberen Grau ähnlich zu werden, und nur wenig bald nach der Seite des Roth, bald nach der des Grün hin abzuweichen. Wenn ich aber nun das Roth mit Grün bedecke und dabei das eine oder andere Auge schliefse, so erscheint mir das Nachbild des Grün auf Grün, während in dem Theile des Feldes, wo vorher Rosa lag, jetzt das reine gesättigte Grün sichtbar wird. Da sieht man denn sehr deutlich, dafs das durch Ermüdung veränderte Grün in der That dem Grau des oberen Streifens sehr ähnlich geworden ist. Dasselbe findet man am Rosaroth, wenn man das Grün verdeckt. Die scheinbare Mischung der Farben zu Weifs beruht also in diesem Falle darauf, dafs die Farben selbst in der Empfindung in Folge der entstehenden complementären Nachbilder dem Grau viel ähnlicher geworden sind, und dafs der Unterschied und Wettstreit der einander ähnlich gewordenen Farben zuletzt nicht mehr so auffällt, wie der der ursprünglichen lebhaften.

In gewissen Fällen kann die auf S. 554 erwähnte Induction der Farbe des Grundes über ein kleines andersfarbiges Feld scheinbare binoculare Mischung hervorbringen. Ich betrachtete einen blauen horizontalen Streifen auf rothem Grunde längere Zeit in Doppelbildern in starrer Fixation, indem ich ein schwarzes auf dem Blau angebrachtes Pünktchen mit einem ebensolchen auf dem Roth binocular vereinigte. Anfangs sah ich nur den Wettstreit des Roth und Blau auf dem Theil des Feldes, wo sich Roth und Blau deckte. Endlich aber bemerkte ich, dafs wirkliches Violett eintrat. Als ich aber nun das eine Auge schlofs, erkannte ich das inducirte Roth auch monocular auf dem blauen Streifen.

Am auffallendsten endlich finde ich den Schein einer binocularen

Mischung in einem schon von H. Meyer und Panum[1] besprochenen Falle. Es befinde sich rechts ein gelbes Feld, auf dem horizontal ein rosenrother Streifen liegt, links ein blaues mit einem verticalen Streifen von demselben Rosenroth. Man bringe das gelbe und blaue Feld zur binocularen Deckung, so dafs die beiden rosenrothen Streifen sich scheinbar kreuzen, so erscheint der linke, welcher gröfstentheils auf das gelbe Feld fällt, allerdings viel gelblicher, als der rechte, der sich gröfstentheils mit dem blauen Felde deckt. In der Mitte, wo beide Felder sich kreuzen, sieht man reines Rosenroth, oder vielmehr, wie mir scheint, das gelbliche Rosenroth des einen geht hier unter dem bläulichen Rosenroth des anderen Streifens gleichsam unverschmolzen hindurch. Panum betrachtet die gelbliche Färbung des einen Rosenroth, die bläuliche des anderen als Folge ihrer binocularen Mischung
780 mit der Farbe des gegenüber stehenden Feldes. Zu beachten ist hierbei, dafs die Veränderung der beiden rosarothen Streifen am lebhaftesten wird, wenn man den Blick wandern läfst, weil dann der auf Gelb liegende das blaue Nachbild des Gelb bekommt, der auf Blau liegende das gelbe Nachbild des Blau. Aber in schwächerem Grade ist die Wirkung allerdings auch bei fest fixirendem Blick vorhanden. Doch kann man auch in diesem Falle sich überzeugen, dafs man es hier zunächst mit einer Contrastwirkung zu thun hat. Die veränderte Färbung des Rosaroth bleibt nämlich auch bestehen, wenn man durch Schlufs des anderen Auges die binoculare Mischung aufhebt. Man schliefse das rechte Auge, welches nach dem gelben Felde gerichtet ist, so bleibt der rosenrothe Streif auf dem noch übrigen blauen Felde so gelblich, wie er vorher war. Im Moment des Augenschlusses verschwindet freilich noch das ihn binocular deckende Gelb, wie eine Art gelben Nebels, durch welchen hin man ihn sah, aber die scheinbare Färbung des Rosenroth selbst bleibt dabei ganz unverändert. Ebenso erscheint der rosenrothe Streif auf dem Gelb unverändert bläulich roth, wenn man auch das nach dem Blau blickende linke Auge schliefst. Daraus folgt also, dafs die Veränderung des Rosa nicht oder wenigstens nicht allein, von binocularer Mischung herrührt, sondern eine Contrastwirkung ist. Schon von Anfang an, auch bei monocularer Betrachtung, erscheint das Rosa auf dem blauen Felde durch Contrast gelblicher, das auf dem gelben Felde bläulicher. Sobald man die beiden Felder zur Deckung bringt, wird die Contrastwirkung allerdings viel lebhafter; ist sie aber einmal so lebhaft entwickelt, so schwindet sie auch nicht wieder, wenn man selbst ein Auge schliefst und somit die binoculare Deckung aufhebt. Bei jedem Contraste ist die Beurtheilung der Farbe, wie wir uns in § 24 zu zeigen bemühten, innerhalb eines gewissen Intervalls unsicher. Nebenumstände bewirken, dafs man die gesehene Farbe eher nach der einen Seite dieses Intervalls, als nach der anderen verlegt. Bei dem hier besprochenen Versuche kann die binoculare Deckung mit der Complementärfarbe des Grundes, auf dem der rosarothe Streifen liegt, wohl als ein solcher

---

[1] Panum, *Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen.* Kiel 1858. S. 41, Fig. 27 und 28.

Nebenumstand betrachtet werden. Übrigens komme ich unten noch auf die Lehre von den binocularen Contrasten wieder zurück.

Was die Theorie der binocularen Zusammensetzung der Farben betrifft, so ist diese, wenn wir von Th. Young's Farbentheorie ausgehen, von ihrer monocularen Mischung nur dadurch unterschieden, dafs die den drei verschiedenen Grundfarben entsprechenden Nervenfasern, welche in verschiedenem Grade gereizt werden, dort auf beide, hier nur in einer Netzhaut vertheilt sind. Die drei verschiedenartigen Nervenfasern, welche demselben Punkte einer Netzhaut angehören, haben entweder dasselbe Localzeichen, oder wenn sie verschiedene Localzeichen haben, so kann doch keine mögliche Erfahrung vorkommen, bei der sie durch Objecte, die in verschiedenen Theilen des Gesichtsfeldes lägen, erregt würden. Eine Veranlassung zu getrennter Localisation dieser Empfindungen in Bezug auf die Richtungen im Sehfeld kann also nicht vorkommen. Ihre verschiedenen Empfindungen verschmelzen also in eine zusammengesetze Empfindung, die Empfindung einer Mischfarbe, welche der Regel nach als das sinnliche Zeichen für eine bestimmte Beschaffenheit des örtlich einfachen Objects auftritt, das sich in jenem Theile 781
des Sehfeldes befindet. Und doch haben wir gesehen, dafs auch bei monocularer Mischung Fälle eintreten, wo wir eine der zusammengesetzten Farben durch die andere hindurch zu sehen glauben, wenn entweder die ungleichmäfsige Vertheilung des Lichts, oder die Bewegung eines örtlich begrenzten Bildes, oder die Anwesenheit eines Theils der Farbe im ganzen Gesichtsfelde uns darauf hinleiten, eine farbige Beleuchtung oder eine farbige Decke von einem farbigen Objecte zu trennen.

Bei ungleichartiger Beleuchtung correspondirender Theile beider Netzhäute ist nun der Eindruck ein solcher, wie er bei einer von allen Seiten gleichmäfsigen Beleuchtung eines einfachen Objects niemals vorkommen kann. Dennoch versetzen wir (aber wahrscheinlich nicht in Folge einer angeborenen Einrichtung unseres Nervensystems, sondern nur in Folge von Einübung) beide Farben in eine und dieselbe Gegend des gemeinsamen Gesichtsfeldes. So sieht man also zwei Farben in dem gleichen Felde und empfindet jede getrennt von der andern. Am ähnlichsten ist dieses Gesichtsbild jedenfalls denjenigen Fällen monocularer Mischung, wo wir zwei farbige Objecte hinter einander in der gleichen Stelle des Sehfeldes sehen oder zu sehen vermeinen, und von einer Zahl der Beobachter, wozu ich mich selbst rechnen mufs, wird die Sache also auch jedenfalls nur so gesehen. Dabei tritt das Schwanken der Aufmerksamkeit ein, die sich entweder dem einen oder anderen Felde zuwendet, und giebt sich als Wettstreit zu erkennen. Etwas dem Wettstreit ähnliches, nur sehr viel schwächer entwickelt, kann man übrigens auch im monocularen Felde sehen, wenn man mittels einer unbelegten Glasplatte das Spiegelbild eines Objectes mit dem durch die Platte gesehenen anderen Objecte zum Decken bringt, vorausgesetzt, dafs beide nahehin gleich hell und deutlich gezeichnet sind, aber ganz verschiedenes Muster haben. Dann kann man entweder das eine oder andere Object

betrachten, das nicht beachtete tritt auch in diesem Falle mehr zurück, wenn es auch nie so vollständig schwindet, wie bei binocularer Deckung. Durch kleine Bewegungen der reflectirenden Platte kann man sich nöthigenfalls die Trennung der beiden Bilder sehr erleichtern.

Da übrigens nach Young's Theorie die Anschauung von Mischfarben doch immer nur darauf beruht, dafs drei verschiedene Farbenempfindungen in dieselbe Stelle des Sehfeldes hinein projicirt werden, und es selbst bei monocularer Mischung nur auf einem je nach den Nebenumständen verschieden ausfallenden Acte des Urtheils beruht, ob dieselben als sinnliches Zeichen einer einfachen Qualität eines Objects oder zweier verschiedenen Qualitäten zweier Objecte angesehen werden, so erscheint es andererseits nicht unmöglich, dafs bei der binocularen Deckung zweier Farben von der Verschiedenheit, welche zwischen dieser Art des Eindrucks und dem der monocularen Mischung stattfindet, abgesehen werde, und die Farben so vereinigt wie bei letzterer angesehen werden. Nach Young's Farbentheorie ist die Mischfarbe ja auch weiter nichts als die Addition dreier verschiedenartiger, sich sonst gegenseitig nicht beeinflussender Eindrücke, welche dieselbe Localisation haben, und die Urtheilsacte, nach denen bald Vereinigung, bald Trennung eintritt, können bei verschiedenen Beobachtern je nach Ein-
782 übung und verschiedener individueller Erfahrung natürlich sehr verschieden ausfallen. Dafs dabei die Vereinigung sehr ähnlicher Farben, die also viel Gemeinsames und wenig Verschiedenes haben, leichter erfolgen kann, als die sehr verschiedener, ist an und für sich selbstverständlich. Dazu kommt auch noch, dafs kleine Verschiedenheiten des Eindrucks auf beide Augen häufig auch bei Betrachtung desselben reellen Objects vorkommen können, wenn das eine Auge mehr ermüdet oder ausgeruht ist als das andere, oder wenn seitlich sehr helles oder farbiges Licht einfällt, welches in ihm zerstreut wird, und so weiter. Die Ausgleichung solcher kleinerer Verschiedenheiten kann also zur Sache der Gewohnheit werden und übersehen werden. Wenn man freilich ein Feld, welches einen solchen Eindruck darbietet, dicht neben ein anderes stellt, in welchem zwei gleiche Farben zur Deckung kommen, so erkennt man die Verschiedenheit und bemerkt den Wettstreit, der auch zwischen wenig differenten Eindrücken vor sich geht.

In ganz eigenthümlicher Weise endlich macht sich die binoculare Combination verschieden farbiger oder verschieden beleuchteter Felder geltend in stereoskopischen Zeichnungen. Macht man nämlich in dem einen von zwei zusammengehörigen Bildern eines Körpers eine Fläche weifs, die man in dem andern Bilde schwarz läfst, oder giebt man ihnen verschiedene, am besten nicht zu sehr verschiedene Farben, so erscheint eine solche Fläche in der stereoskopischen Combination glänzend, während alle diejenigen Theile des Körpers, die in beiden Zeichnungen gleiche Färbung und Beleuchtung haben, matt erscheinen. Übrigens ist dieser Schein des Glänzenden oder Matten durchaus unabhängig davon, ob die Flächen der Zeichnung wirklich matt oder glänzend sind, vorausgesetzt, dafs sie im

letzteren Falle nicht gespiegeltes Licht in das Auge des Beobachters zurückwerfen.

Man kann sogar stereoskopische Linienzeichnungen, zum Beispiel von Krystallmodellen, einerseits mit schwarzen Linien auf weifsem Grunde, andererseits mit weifsen Linien auf schwarzem Grunde ausführen und solche Zeichnungen stereoskopisch combiniren. Man erhält dabei den Eindruck, als wäre der Körper, den man sieht, aus einer dunklen glänzenden Masse, wie Graphit, ausgeführt und läge auf einer Fläche von Graphit. Ein solches Beispiel zeigt *Fig. Q, Taf. VI.*

Auch in photographischen Stereoskopbildern von glänzenden Gegenständen, z. B. glänzenden Pflanzenblättern, Atlas u. s. w., wird man häufig Stellen finden, welche in beiden Zeichnungen verschieden helle Reflexe zeigen und in dem combinirten Bilde den Eindruck des Glanzes hervorrufen. Am ausgezeichnetsten vielleicht ist dieser Eindruck auf momentanen Photographien einer welligen, von der Sonne beschienenen Wasserfläche. Ebenso wird man sich bei Betrachtung objectiver glänzender Körper sehr oft überzeugen können, dafs einzelne Stellen derselben dem einen Auge einen viel stärkeren Reflex zusenden als dem andern.

Hierin scheint mir auch der Grund zu liegen, warum in stereoskopischen Zeichnungen verschieden beleuchtete Flächen combinirt glänzend erscheinen. Wenn eine matte Oberfläche von Licht getroffen wird, so sendet sie dieses Licht gleichmäfsig nach allen Richtungen in der Weise zurück, dafs sie von allen Richtungen aus gesehen gleich hell erscheint. Folglich wird sie auch unter den normalen Bedingungen des Sehens unseren beiden Augen immer 783
gleich hell erscheinen. Glänzende Flächen dagegen sind solche, die eine mehr oder weniger regelmäfsige spiegelnde Reflexion zeigen. Sie können eine Menge gröfserer oder kleinerer hügeliger Unebenheiten zeigen; wenn die Oberfläche dieser Hügel polirt ist und überwiegend einer bestimmten Richtung sich nähert, so werden sie doch auffallendes Licht in überwiegender Menge in derjenigen Richtung zurückwerfen, in der eine regelmäfsig spiegelnde Fläche alles Licht zurückwerfen würde. Unter diesen Umständen wird es oft vorkommen, dafs eines unserer Augen sich in der Richtung des zurückgeworfenen Lichts befindet, das andere nicht. Dem ersteren erscheint dann die betreffende Fläche stark erleuchtet, dem anderen schwach. Sehen wir also im Stereoskope an dem Bilde eines Körpers eine Fläche mit beiden Augen verschieden stark erleuchtet, so erhalten wir einen sinnlichen Eindruck, den in Wirklichkeit nur glänzende, aber niemals matte Flächen hervorbringen können, und die betreffende Fläche erscheint uns deshalb glänzend.

Ebenso kann es vorkommen, dafs ein glänzender Körper, der von farbigen umringt ist, dem einen Auge reflectirtes Licht von einer, dem andern von anderer Farbe zusendet, also beiden Augen verschiedenfarbig erscheint, während ein matter Körper unter den normalen Bedingungen des Sehens nothwendig beiden Augen immer gleichfarbig erscheinen mufs. Wenn also im Stereoskop dieselbe Fläche in der einen Zeichnung anders gefärbt ist als

in der andern, so erregt uns das einen sinnlichen Eindruck, wie ihn nur glänzende Körper hervorbringen können. Da sich in der Regel die Farbe des glänzenden Körpers selbst mit der der beiden Reflexe mischt und die letzteren selten ganz rein nur die eine Farbe reflectiren, so sind die Unterschiede in der Färbung solcher Reflexe glänzender Körper für beide Augen in der Regel nicht sehr grofs, und dem entsprechend gelingt es besser Glanz hervorzubringen durch Verbindung von Farben, die nicht sehr verschieden sind, als durch sehr glänzende und sehr differente. Letztere lassen mehr Wettstreit als Glanz sehen.

Nach den Beobachtungen von Wundt tritt der Glanz in der Combination zweier farbigen Felder am besten hervor, wenn beide ungefähr gleich stark mit dem Grunde, auf dem sie liegen, contrastiren, schwächer, wenn eines viel stärker contrastirt; dann überwiegt nämlich dasselbe im Wettstreite der Sehfelder zu sehr und unterdrückt das andere. Legt man zum Beispiel ein helles gelbes und ein dunkles blaues Quadrat von gleicher Gröfse auf weifsen oder schwarzen Grund, und bringt sie zur binocularen Deckung, so unterscheidet sich im einen Falle das Gelb zu wenig vom weifsen Grunde, im andern das Blau zu wenig vom schwarzen Grunde, und der Glanz ist viel schwächer, als wenn man beide Quadrate auf grauen Grund legt, der sich von beiden gleich stark unterscheidet.

Auch dadurch, dafs man auf dem einen Quadrate Zeichnungen mit scharfen Contouren anbringt, kann man dieses im Wettstreit so begünstigen, dafs die Erscheinung des Glanzes undeutlich wird.

Auch kann man binocularen Glanz hervorbringen, ohne gerade stereoskopische Zeichnungen zu benutzen, wenn man durch zwei verschieden gefärbte Gläser nach buntgefärbten Objecten hinsieht, zum Beispiel durch
784 ein blaues und ein rothes Glas nach einem in Blau und Roth ausgeführten Muster. Durch jedes Glas erscheint die gleichnamige Farbe hell, die andere dunkel, und man sieht das Muster sehr auffallend glänzend. Wichtig ist dabei die Bemerkung von Dove, dafs, wenn im Wettstreit der Augen die eine oder andere Farbe sich ganz hervordrängt, der Glanz verschwindet, im Moment des Übergangs aber, wo beide neben einander sichtbar sind, der Glanz auftritt.

Der Metallglanz ist dadurch charakterisirt, dafs das regelmäfsig reflectirte Licht selbst schon gefärbt und nicht weifs ist, wie das der durchsichtigen Stoffe. Metallglanz kommt deshalb auch Körpern zu, welche die Farben dünner Blättchen geben, wie bunte Vogelfedern, und gewissen stark gefärbten und brechenden Stoffen, wie Indigo.

Die Erscheinung des stereoskopischen Glanzes ist für die Theorie der Thätigkeit beider Netzhäute deshalb von Interesse, weil daraus mit Sicherheit hervorgeht, was bei den verschiedenen Aussagen verschiedener Beobachter über die Erfolge der binocularen Deckung verschiedener Bilder vielleicht zweifelhaft bleiben könnte, dafs zwei heterogene Lichtwirkungen auf correspondirende Netzhautstellen stets einen durchaus andern sinnlichen Ein-

druck machen, als zwei gleichartige Einwirkungen auf dieselben Stellen. Wenn das eine Auge Schwarz sieht und das andere in dem correspondirenden Theile des Sehfeldes Weifs, so ist der sinnliche Eindruck der einer glänzenden weifslichen Fläche. Wenn wir aber das weifse Licht, was bisher auf die eine Seite allein fiel, auf beide Seiten gleichmäfsig vertheilen, also Grau mit Grau combiniren, so giebt das den Eindruck von mattem Grau, welcher ganz bestimmt unterschieden ist von dem Eindruck des glänzenden Weifs, den die erste Combination machte.

Dasselbe gilt für den durch binoculare Vereinigung verschiedener Farben erzeugten Glanz.

Man kann zwar denselben Schlufs schon aus der Thatsache ziehen, dafs zwei stereoskopische Zeichnungen, binocular combinirt, nicht so erscheinen, als wären alle Linien auf dasselbe Blatt aufgetragen, sondern den Eindruck eines Körpers geben. Indessen ist hierbei allerdings der Einflufs der Augenbewegungen von Wichtigkeit, und nur bei momentaner Beleuchtung durch den elektrischen Funken fällt dieser ganz weg.

Ich bemerke noch, dafs ich auch solche Zeichnungen, welche stereoskopischen Glanz zeigen, bei der Beleuchtung durch den elektrischen Funken betrachtet habe, und dafs auch hierbei der Eindruck des Glanzes vollkommen zur Erscheinung kommt. Diese Thatsache ist wichtig, weil dadurch die Erklärung beseitigt wird, dafs der Glanz auf dem Wechsel der Beleuchtung und Färbung beruht, den der Wettstreit verursacht. Den Wechsel im Wettstreit bei nicht angestrengter Aufmerksamkeit habe ich nie schneller als in Perioden von etwa 8 Secunden, meist aber sehr viel langsamer vor sich gehen sehen. Wenn nun auch der Lichteindruck in der Netzhaut einen kleinen Bruchtheil einer Secunde dauert, so ist während dieser Zeit keine merkliche Änderung durch den Wettstreit der Sehfelder möglich. Man kann aber in dieser kurzen Zeit erkennen, dafs man die beiden verschiedenen Eindrücke beider Sehfelder gleichzeitig und in derselben Stelle des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes sieht.

Den Eindruck des Glanzes können übrigens auch monocular gesehene 785
Bilder und Objecte hervorbringen, zum Beispiel dadurch, dafs ihre Beleuchtung bei Bewegungen des Beobachters sich schnell verändert; dabei kommen die Elemente, aus denen sich der stereoskopische Glanz zusammensetzt, nicht gleichzeitig, aber schnell hinter einander zur Beobachtung. Ferner erscheinen bewegte Objecte glänzend, wenn die Beleuchtung ihrer einzelnen Theile schnell hinter einander sich verändert, wie es zum Beispiel bei einer bewegten Wasserfläche geschieht. Es genügt selbst, wenn nur die verschiedenartige Beleuchtung der Theile einer Fläche die bekannten Formen der Lichtreflexe unvollkommen spiegelnder Körper nachahmt. WUNDT hat monocularen Glanz hervorgebracht, indem er ein dunkles Quadrat auf andersfarbigem dunklen Grunde durch eine unbelegte Glasplatte betrachtete, deren Vorderseite gleichzeitig ein helleres Quadrat auf hellerem Grunde spiegelte, so dafs die Spiegelbilder mit dem erstgenannten sich nahehin deckten. Der Glanz verschwand,

wenn das gespiegelte Quadrat scheinbar genau an demselben Orte sich befand, wie das wirklich dort vorhandene, dann sah man nur die Mischfarbe. Der Glanz kam aber zum Vorschein, wenn das gespiegelte scheinbar hinter dem wirklichen lag. Lag es vor ihm, so schien eher das gespiegelte zu glänzen. Es wurde hierbei also die Anschauung hervorgebracht, als sähe man hinter und durch das wirklich vorhandene Quadrat noch ein anderes, was dann als ein von ersterem entworfenes Spiegelbild erschien, und das gab den Anschein des Glanzes. Diese Versuche zeigen besonders gut, dafs es hier nicht auf besondere Qualitäten der Färbung ankommt, sondern darauf, die Täuschung hervorzubringen, als reflectire eine gesehene Fläche noch ein anderes Bild.

Der Schein der Durchsichtigkeit tritt auch bei binocularer Deckung zweier verschiedenfarbiger Felder zuweilen ein, worauf Wundt aufmerksam machte. Bringt man zum Beispiel ein helles gelbes und dunkleres blaues Quadrat auf weifsem Grunde zu einer unvollständigen binocularen Deckung, so erscheint das Blau da, wo man die Grenze des Gelb und Weifs von ihm gedeckt sieht, durchsichtig. Dagegen fehlt dieser Schein, wo das Gelb die Grenze von Blau und Weifs deckt. Auf schwarzem Grunde erscheint dagegen das Gelb durchsichtig. Das stärker mit dem Grunde contrastirende Feld erscheint überhaupt der Regel nach als das durchsichtige, entsprechend dem objectiven Verhältnifs, wonach etwas, was durch ein durchscheinendes Medium, dessen Substanz selbst deutlich wahrgenommen wird, gesehen wird, immer nur undeutlich gesehen wird, während die Grenzen dieses Mediums, unbedeckt von einem anderem durchscheinenden Medium, sich der Regel nach scharf markiren werden.

Es sind schliefslich noch einige Erscheinungen zu besprechen, welche als Contrast zwischen den Empfindungen beider Augen auszulegen sind, oder wenigstens ausgelegt werden können.

Zunächst hat namentlich Fechner darauf aufmerksam gemacht, wie aufserordentlich gut kleine Unterschiede der augenblicklichen Farbenstimmung beider Augen, d. h. der Weise, in welcher die Augen die Farben empfinden, wahrgenommen werden, wenn man nach einem kleinen hellen Objecte auf schwarzem Grunde sieht und dessen binoculares Bild
780 durch veränderte Augenstellung in Doppelbilder auseinander schiebt. Ist das eine Auge zum Beispiel geschlossen gewesen und hat das andere während der Zeit helle weifse Flächen angesehen, so erscheint unmittelbar hinterher von den zwei Doppelbildern eines weifsen Streifens auf schwarzem Grunde dasjenige, welches dem ermüdeten Auge angehört, dunkler und auch violetter als das andere, welches dem vorher ausgeruhten Auge angehört. Hat man dagegen mit dem freien Auge nach einer farbigen Fläche gesehen, so erscheint dessen Bild nachher in der Complementärfarbe, das andere der inducirenden Farbe gleichfarbig. Hierbei ist die Complementärfarbe in dem ermüdeten Auge in der Vergleichung der beiden Doppelbilder sehr viel länger sichtbar, als wenn man beide Augen nach derselben farbigen Fläche

hat blicken lassen und in beiden daher die gleiche Farbenstimmung nachbleibt. So ist es zum Beispiel ohne dieses Hilfsmittel der Doppelbilder sehr schwer zu erkennen, dafs das Nachbild einer mäfsig erleuchteten weifsen Fläche eine bläuliche Färbung hat, während dieser Umstand in der Vergleichung mit dem Doppelbilde des ausgeruhten Auges, welches hell orangegelb erscheint, sogleich sichtbar wird. Ist der Unterschied der Helligkeit beider Bilder zu grofs, so kann man die Vergleichung sehr erleichtern, wenn man das des freien Auges entsprechend verdunkelt, indem man entweder durch eine feine Öffnung in einem schwarzen Papierblatte blickt, oder durch ein doppeltbrechendes Prisma, welches zwei Bilder des hellen Streifens, jedes von halber Helligkeit des directen Bildes zeigt, oder auch durch ein farbloses graues Brillenglas, von dessen Farblosigkeit man sich vorher überzeugt hat.

Es geht aus diesen Versuchen hervor, dafs die Vergleichung zwischen den Farbenempfindungen nahehin correspondirender Stellen beider Netzhäute mit grofser Genauigkeit geschehen kann, scheinbar sogar mit gröfserer Genauigkeit und viel längere Zeit hindurch, als dies der Fall ist, wenn die beiden Farben durch die entsprechenden Stellen einer Netzhaut verglichen werden sollen. Um nämlich die Farbe, in der die Netzhaut zum Beispiel Weifs empfindet, zu vergleichen mit der, in der es die nicht ermüdete thut, mufs man durch starres Fixiren eines weifsen Objects auf schwarzem Grunde ein scharf gezeichnetes Nachbild entwickeln und dies nachher auf gleichmäfsig weifsem Grunde betrachten. Abgesehen davon, dafs die Anstrengung des starren Fixirens ziemlich beträchtlich ist und vielleicht Einflufs auf den Verlauf des Processes hat, abgesehen ferner davon, dafs man den Vortheil nicht hat, das helle Bild beliebig verdunkeln zu können, so verschwinden die begrenzten Nachbilder auf einer Netzhaut auch bald für die Wahrnehmung, weil wir überhaupt gleichbleibende Helligkeits- oder Farbenunterschiede zwischen zwei verschiedenen Netzhautstellen, die durch Wechsel nicht aufgefrischt werden, schwer bemerken.

Wir haben in § 24 gesehen, dafs wir geneigt sind, deutlich wahrnehmbare Unterschiede der Helligkeit und Farbe für gröfser zu halten, als undeutlich wahrnehmbare, und dafs der gröfsere Theil der sogenannten Contrasterscheinungen hierauf zurückzuführen ist. Eine solche Contrastwirkung äufsert sich nun im vorliegenden Falle dadurch, dafs auch das unveränderte Bild sich im Gegensatze zu dem veränderten färbt, erhellt oder verdunkelt. So sieht das reine Weifs des unermüdeten Auges gelb
aus, neben dem violetten Grau des durch Weifs ermüdeten, oder ersteres 787
grün, wenn das letztere durch das Nachbild von Grün rosaroth gefärbt ist u. s. f.

Statt das eine Doppelbild durch ein Nachbild zu färben, kann man es auch direct durch ein farbiges Glas färben, welches man vor das betreffende Auge bringt. Aber ich finde auch hier, was wir schon oben für die Contrasterscheinungen als charakteristisch fanden, dafs eine schwache Farbe eine viel

deutlichere Contrastwirkung hervorbringt, als eine sehr gesättigte. Grünliches Fensterglas oder gelbröthliches Bouteillenglas zeigt die complementäre Farbe auf dem jenseitigen Doppelbilde viel deutlicher, als wenn man durch sehr tief gefärbtes Glas blickt, selbst wenn man im letzteren Falle das Bild des anderen Auges durch passende graue Gläser auf dieselbe Lichtstärke herunterbringt, als das farbige Bild.

Ja es ist sogar ein Contrast möglich zwischen solchen Farben, die auf correspondirenden Stellen beider Netzhäute liegen. Man lege einen schwarzen Streifen auf einen weifsen Grund, schiebe sein Bild zu Doppelbildern auseinander und bringe dann vor das eine Auge ein blaues, vor das andere ein graues Glas, welche beide ungefähr gleich dunkel sind. Man sieht dann das eine Bild des schwarzen Streifen umgeben von hervortretendem Blau, das andere von hervortretendem Weifs, während im übrigen Grunde Blau und Weifs mehr oder weniger gleichmäfsig über einander lagern. Dabei zeigt sich das Weifs, was längs der Contour des schwarzen Streifens hervortritt, entschieden gelblich. Nimmt man beide Gläser fort, so erscheint gelbliches Weifs, wo vorher Blau vorherrschte, und bläuliches Weifs, wo wir es vorher gelblich sahen.

Vertauschen wir bei diesem Versuche die blaue Glasplatte mit einer gelben, so wechselt auch in den Bildern überall Gelb mit Blau.

Es mufs wohl als sehr auffallend betrachtet werden, dafs unter dem Einflufs der Contouren des Schwarz unsere Aufmerksamkeit sich dem benachbarten Weifs so ausschliefslich zuwendet und es von dem im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde überdeckenden Blau so vollständig trennt, dafs dieses Weifs sogar gelblich aussehen kann. Dies gelbliche Weifs zeigt übrigens auch darin seinen Charakter als Contrastfarbe, dafs es kurze Zeit stehen bleibt, selbst wenn wir das Auge hinter dem blauen Glase ganz schliefsen. Auch bei den farbigen Schatten (S. 551 und 552) fanden wir, dafs das einmal über die Art der Farbe festgestellte Urtheil bestehen blieb, selbst nachdem die contrastirende Farbe, deren Anwesenheit zu dem Irrthume verleitet hatte, aus dem Gesichtsfelde entfernt war.

In den bisherigen Versuchen fand der Contrast statt in der Vergleichung zweier Farben, welche den entgegengesetzten Gesichtsfeldern angehören. Es kann nun aber auch die Wirkung monocularen Contrastes durch binoculare Vergleichung mit dem entgegengesetzten Contraste gesteigert werden. Man lege rechts einen Bogen rosarothen, links einen Bogen grünen Papiers, so dafs beide in der Mitte an einander stofsen; ferner lege man nahe der Grenzlinie auf jede Seite einen Streifen weifsen Papiers. Betrachtet man diese beiden Streifen mit freien Augen, so ist in der Regel gar keine Contrastfärbung an den beiden Papierstreifen zu bemerken, wenn nicht schon starke Nachbilder der beiden Farben entwickelt sind. Blickt man mit einem
788 Auge durch eine schwarze Röhre nach einem dieser Streifen, während das andere Auge geschlossen ist, so bemerkt man allerdings eine schwache complementäre Contrastfärbung. Hält man aber zwei schwarze Röhren vor

beide Augen, so dafs das rechte den einen Streifen mit einem Stück des rothen Grundes, das linke den anderen mit einem Stück des grünen Grundes sieht, ohne dafs man übrigens die Streifen binocular zum Decken bringt, so treten die complementären Färbungen der beiden Streifen in einer sonst kaum beobachteten Stärke auf. Die Wirkung nimmt an Stärke immer mehr zu, wenn man den Versuch längere Zeit fortsetzt, ohne den Blick auf einen bestimmten Punkt festzuheften. Dabei entstehen natürlich immer stärkere Nachbilder des Grundes, und da das rechte Auge nur rothen, das andere nur grünen Grund sieht, so kann bei allen Bewegungen des Auges sich im rechten Auge immer nur Grün, im linken immer nur Roth als Grund entwickeln und die Contrastwirkung nur verstärken.

Dies wäre nun ein successiver Contrast, einer der auf Nachbildern beruht. Wenn man zu Anfang des Versuchs schnell die Augen auf die weifsen Streifen hinwendet und sie möglichst schnell in der richtigen Lage fixirt, so sieht man ebenfalls, wenn auch viel schwächer die Contrastfarben. Indessen da unter den Umständen dieses Versuchs Nachbilder des Grundes durch die Vergleichung der Färbung in beiden Sehfeldern besonders leicht sichtbar werden, so hielt ich es für nöthig, eine Versuchsweise zu suchen, welche ganz sicher vor jeder Entstehung eines Nachbildes des Grundes schützte. Zu dem Ende befestigte ich auf einer Glasplatte zwei Papierstreifen, parallel zu einander in senkrechter Richtung, von denen der rechte oben schwarz und unten grau, der linke oben grau und unten schwarz war. Die Glastafel brachte ich über eine rechts mit rothem, links mit grünem Papier belegte Fläche, so dafs der rechte Papierstreifen über rothem, der linke über grünem Grunde lag. Vor dem Beginn des Versuchs schob ich aber weifses Papier zwischen die Glastafel und die farbige Fläche, so dafs die letztere ganz verdeckt war. Nun fixirte ich mit beiden Augen die grauschwarzen Streifen so, dafs sie sich deckten, wobei sowohl die obere als untere Hälfte des Bildes aus der Deckung einer schwarzen und einer grauen Streifenhälfte besteht. In der Mitte jedes Streifens hatte ich einen weifsen Punkt angebracht als Fixationspunkt. Indem ich die beiden weifsen Punkte binocular vereinigte, war ich im Stande, das gemeinsame Bild der grauschwarzen Streifen ganz sicher festzuhalten. Wenn ich nun das weifse Papier entfernte, so dafs die farbige Fläche dahinter zum Vorschein kam, so entstanden allerdings Spuren einer Contrastfärbung, die aber aufserordentlich schwach waren. Das Grau, welches auf grünem Grunde lag, erschien röthlich, das auf rothem Grunde befindliche grünlich. Dagegen genügten wenige kurze Bewegungen des Blicks von rechts nach links und zurück, um die Contrastfarben gleich in voller Intensität zum Vorschein zu bringen. Die anfänglichen schwachen Contrastfärbungen waren schwächer, als sie beim monocularen Contrast zum Vorschein kommen. Noch schwächer war die Wirkung, wenn das Grau durch Weifs ersetzt wurde.

Die reinen Wirkungen des simultanen Contrastes auf den beiden grauen Streifen wurden also geschwächt durch die binoculare Vergleichung. Indem 789

das Grau des einen Sehfeldes dem des anderen binocular genähert wurde, wurde eine genauere Vergleichung zwischen den beiden Grau möglich, als vorher im monocularen Felde, wo die beiden Streifen durch weite Strecken Grün und Roth von einander getrennt waren. In dieser Beziehung verhalten sich also die Erscheinungen des successiven Contrastes, welche auf einer Veränderung der Empfindung durch Nachbilder beruhen, ganz anders, als die des simultanen Contrastes, welche wir als Irrthümer des Urtheils aufgefaſst haben. Erstere treten durch binoculare Vergleichung auffallender hervor, letztere werden im Gegentheil berichtigt.

Bei der bisher beschriebenen Form des Versuchs wurde eine binoculare Deckung der grauen Streifen mit farbigem Grunde vermieden, sie deckten sich vielmehr mit Schwarz. Nun kann man aber durch veränderte Convergenz der Augen ihre Bilder so weit aneinander schieben, daſs sie sich nicht decken, sondern nur berühren. Bringt man sie in diese scheinbare Lage, während zunächst noch der weiſse Bogen darunter liegt, überzeugt sich dabei von dem gleichen Aussehen des Grau an beiden Streifen und nimmt dann das weiſse Papier fort, um den farbigen Grund sichtbar zu machen, so erscheint der von Roth umgebene Streifen, der sich binocular mit Grün deckt, entschieden grün, der andere, der von Grün umgeben ist und sich mit Roth deckt, ebenso entschieden roth. Man erhält ganz frappant den Eindruck, als fände eine binoculare Mischung des Grau mit den beiden Farben des Grundes statt. Schiebt man den weiſsen Bogen wieder unter die Glasplatte, so schwinden augenblicklich die Färbungen, wie es bei einer Mischung der Farben des Grundes mit dem Grau sein müſste.

Aber ein anderer Versuch zeigt, daſs wir es hier nicht mit einer Mischung zu thun haben. Schlieſse ich das rechte Auge, wenn ich die Streifen complementär gefärbt vor mir sehe, so bleibt nur der von Grün umgebene Streif sichtbar, und obgleich eine Art rothen Schleiers sich von ihm zurückzieht, nämlich das ihn binocular deckende Roth, so bleibt seine Körperfarbe, das Grau, doch so röthlich, als es vorher war; das wäre nicht möglich, wenn das röthliche Aussehen des Grau nur auf einer (binocularen) Mischung mit Roth beruhte. So wie aus der Mischung das Roth fortfiele, müſste sich die ursprüngliche Farbe herstellen und eher durch den Contrast grünlich werden. Ich glaube vielmehr, daſs der Erfolg dieser Versuche so zu erklären ist: Wir haben vorher gesehen, daſs wenn in beiden Sehfeldern Grau enthalten ist und sich beides binocular mit Schwarz deckt, wir den Farbenton der beiden Grau sehr genau vergleichen können, und daſs durch diese unmittelbare Vergleichung der beiden Grau Wirkungen monocularen Contrastes, die uns geneigt machen könnten, die beiden Grau für verschiedenartig zu halten, geschwächt werden. In dem letztbeschriebenen Versuche dagegen deckt sich Grau, welches von Roth umgeben ist, und welches wir deshalb geneigt sind, für grünlich zu halten, binocular mit Grün, und das andere durch Contrast mit der grünen Umgebung röthlich gefärbte Grau deckt sich binocular mit Roth. Hier kann diese binoculare Deckung der

eiden Flächen, welche zu vergleichen sind mit zwei verschiedenen und 790
ebhaften Farben die Vergleichung sehr unsicher machen und daher den
Contrast verstärken.

Schiebt man nachher eine weifse Fläche unter, an der die Augen ihr
Irtheil über das Weifs wieder berichtigen können, so schwindet augen-
licklich der Contrast. Auch wenn eine schwarze untergeschoben wird, so
st sogleich eine genaue und ungefälschte Vergleichung der beiden grauen
streifen möglich, welche den Contrast derselben schwinden macht. Wenn
nan dagegen nur ein Auge schliefst, so treten keine Momente ein, die das
Irtheil berichtigen könnten, und der Contrast bleibt bestehen.

Wir können das Resultat der bisher beschriebenen Versuche dahin
usammenfassen: Wenn im binocularen Felde das rechte Auge das Bild *α*,
as linke das Bild *β* dicht neben einander erblickt und *α* sich mit dem
Grunde *b*, *β* mit dem Grunde *a* deckt, so ist die Vergleichung der objec-
iven oder durch Nachbilder veränderten Färbung von *α* und *β* sehr genau,
o oft der Grund *a* dieselbe Färbung wie *b* hat; sie ist dagegen sehr
nsicher, so oft *a* und *b* verschiedene Farbe oder Beleuchtung haben.
Ersteres zerstört monoculare Simultancontraste, letzteres begünstigt sie.

Bei einigen anderen Versuchen über binocularen Contrast kommt, wie
ei vielen des monocularen Contrastes, in Betracht, dafs wir die objectiven
Farben der Körper von der Farbe einer weit verbreiteten Beleuchtung zu
rennen geübt sind.

Dahin gehört zunächst FECHNER's[1] **sogenannter paradoxer Versuch.**
Ian blicke nach einer weifsen Fläche, schliefse und öffne abwechselnd das
echte Auge, so wird man finden, dafs im Moment des Schlusses die weifse
Fläche, welche nun nur noch vom linken Auge gesehen wird, ein wenig
unkler erscheint, als während der Öffnung beider Augen. Der Ausschlufs
es Lichtes von dem einen Auge bringt also, wie man erwarten mufste,
ine Verdunkelung des Bildes hervor, freilich eine verhältnifsmäfsig aufser-
rdentlich schwache, für manche Augen kaum wahrnehmbare. Nun ändere
ian die Bedingungen des Versuchs dadurch ab, dafs man vor das rechte
uge ein ziemlich stark verdunkelndes graues Glas nimmt. Wenn man jetzt
as rechte Auge öffnet, erscheint die weifse Fläche im Gegentheil dunkler;
enn man es schliefst, heller. Also wenn mehr Licht in die Augen fällt,
aben wir scheinbare Verdunkelung, wenn weniger, Erhellung. Nimmt man
nmer hellere graue Gläser, so schwindet dieser negative Erfolg und geht
ndlich in den positiven über, den die freien Augen zeigen, nämlich Öffnung
es geschlossenen Auges giebt Erhellung. Geht man im Gegentheil zu sehr
unkeln Gläsern über, so kommt man zuletzt an eine Grenze, wo es einerlei
leibt, ob das Auge hinter dem Glase offen oder geschlossen ist, indem
as einfallende Licht keine in Betracht kommende Wirkung mehr ausübt.
ine mittlere Verdunkelung der Gläser giebt also ein Maximum des Erfolgs.

---

[1] FECHNER, *Abhandl. d. Sächs. Ges. d. Wiss.* VII, 416–463.

Fechner selbst brauchte dazu Gläser, die zwischen 0,03 und 0,05 des einfallenden Lichts durchliefsen. Statt der grauen Gläser kann sehr zweckmäfsig Aubert's oben (S. 417) beschriebener Episkotister angewendet werden.

791 Dafs die Bewegung der Pupille hierbei ohne Einflufs ist, wurde controlirt, indem der Beobachter mit dem freien Auge durch eine enge Öffnung von geringerem Durchmesser als die Pupille blickte. Man kann auch überhaupt bei diesen Versuchen enge Öffnungen in schwarzen Papierblättern, statt der dunklen Gläser, zur Verdunkelung des Bildes anwenden.

Der Erfolg dieses paradoxen Versuchs könnte so ausgelegt werden, als wenn die Lichtempfindung in dem einen Auge unter Umständen die im anderen Auge herabsetzte, als wenn also ein antagonistisches Verhältnifs zwischen beiden Netzhäuten bestände; aber eine leichte Modification des Versuchs beweist, wie ich gefunden habe, dafs es sich hier um ganz etwas anderes handelt.

Man stelle sich so auf, dafs man vor sich im Gesichtsfelde einen wohl begrenzten und contourirten weifsen Gegenstand hat, z. B. eine weifse, den Fenstern gegenüber gelegene Thür, und wähle ein dunkles Glas, mit dem der paradoxe Versuch gut gelingt, wenn man nach dieser Thür hinblickt. Dann schiebe man zwischen die Thür und das von dem dunklen Glase bedeckte Auge nahe vor diesem ein weifses Blatt Papier so ein, dafs es diesem Auge die Thür verdeckt und das ganze Gesichtsfeld dieses Auges einnimmt. Indem man das Blatt mehr oder weniger schräg gegen das Licht wendet, wird man ihm leicht eine solche Beleuchtung geben können, bei der es eben so hell ist, wie die dahinter liegende Thür. Jetzt wiederhole man den Versuch, er wird den umgekehrten Erfolg geben, wie vorher. Öffnung des geschlossenen Auges hinter dem dunklen Glase und dem Papier läfst die Thür ganz wenig heller werden, indem sich eine Art lichten Nebels über sie ergiefst: das ist nämlich das binocular deckende Bild des weifsen Papiers. Nachdem man dies constatirt hat, ziehe man nun das weifse Blatt fort, während beide Augen geöffnet sind, so dafs man mit beiden Augen die Thür sieht. Jetzt erscheint die Thür beträchtlich verdunkelt, obgleich die Helligkeit jener Stellen der beiden Sehfelder, in denen sie erscheint, ganz unverändert geblieben ist.[1]

Diese Änderung des Versuchs zeigt, dafs es sich hierbei nicht um eine Änderung in der Empfindung des Lichts, sondern nur um eine Änderung unseres Urtheils über die Körperfarbe des weifsen Objects handelt. Ist das eine Gesichtsfeld ausgefüllt mit Dunkel (bei geschlossenem Auge) oder mit gleichmäfsig vertheiltem schwachen Lichte (Bild des weifsen Papiers durch das dunkle Glas gesehen), so rechnen wir diese gleichmäfsig und weit über die Grenzen des der Thür entsprechenden Gesichtsfeldes ausgedehnte Beleuchtung nicht der Körperfarbe der Thür zu, sondern bilden uns unser Urtheil über diese Farbe ganz allein nach der Aussage desjenigen Auges,

[1] Dafs es bei diesem Versuch darauf ankommt, ob man begrenzte oder unbegrenzte Flächen mit dem verdunkelten Auge sieht, hat auch Herr Hering beobachtet. (*Beiträge zur Physiologie.* S. 311—312.)

welches die Umrisse der Thür erkennt. Höchstens erscheinen die Abänderungen der Beleuchtung im anderen Auge als ein dunkler oder heller Nebel, der sich vor die Thür und die übrigen Gegenstände hinlegt. Wenn wir aber mit dem verdunkelten Auge ebenfalls die Umrisse der Thür erkennen und diese in dunklem Grau erblicken, so erscheint uns dieses Grau der Körperfarbe der Thür eben so angehörig, wie das Weifs des 792 entgegengesetzten Auges, und die Thür selbst erscheint uns deshalb verdunkelt. Sie erscheint dann wie ein grauer, mit weifsem Licht erhellter und glänzender Körper. Natürlich aber mufs diese Verdunkelung ausbleiben, wenn entweder die Verdunkelung durch das Glas sehr gering ist und sich daher das im zweiten Auge hinzukommende Licht nur als Licht merklich macht, oder wenn im Gegentheil die Verdunkelung so grofs ist, dafs die Objecte kaum noch erkannt werden können.

Ähnliche Verhältnisse kommen auch monocular vor bei dem von Smith und Brücke[1] angegebenen Versuche, den Fechner den seitlichen Fensterversuch nennt. Man kann diesem Versuche eine andere Form geben, wie ich gefunden habe, bei der sich die Bedingungen des Erfolges noch sicherer übersehen lassen, als bei jener ersten Form. Ich habe eine planparallele Platte Uranglas in zwei Hälften theilen lassen. Dieses Glas sieht im Kerzenlicht ganz ungefärbt aus, weil es nur die violetten und einen Theil der blauen Strahlen absorbirt, deren Menge im Kerzenlicht sehr unbedeutend ist; bei Tage, wenn die Substanz des Glases selbst nicht stark erleuchtet ist, erscheinen weifse Gegenstände durch das Glas schwach gelblich. Wird die Masse des Glases selbst aber durch directes Sonnenlicht getroffen, so geht intensiv grünes Fluorescenzlicht von allen seinen Theilen aus. Wenn ich vor jedes Auge eine solche Platte Uranglas nehme, beide so beschattet, dafs nur das von dem Objecte kommende Licht sie trifft, und das Bild eines weifsen Feldes auf schwarzem Grunde in ein Doppelbild aus einander treibe, so erscheinen natürlich beide Bilder des weifsen Feldes in gleicher gelblich weifser Farbe. Wenn ich nun aber das eine Glasstück von directen Sonnenstrahlen treffen lasse, so füllt sich das Sehfeld des dahinter stehenden Auges mit dem grünen Lichte der Fluorescenz, und nun sieht nach wenigen Bewegungen des Auges das zugehörige Doppelbild des Weifs, welches noch dazu mit grünem Licht übergossen ist, rosaroth aus, während das Doppelbild des anderen Auges heller und grünlich erscheint, obgleich es objectiv rein weifs ist. Wir haben also hier in dem Auge, welches durch das fluorescirende Glas sieht und dessen Grund deshalb gleichmäfsig mit schwachem grünen Lichte bestrahlt wird, eine so vollständige Trennung des begrenzten Weifs von dem unbegrenzt ausgegossenen Grün, dafs an jenem Weifs sogar die rosenrothe Färbung zum Vorschein kommt, welche durch die Ermüdung des Auges gegen Grün bedingt wird. Im Contrast dazu erscheint dann das andere nicht grüne Bild grünlich.

[1] S. oben S. 562—563

Bei dem ursprünglichen Versuche von Smith war es, wie wir oben gesehen haben, das rothe durch die Augenhäute eingedrungene Licht, welches das gleichseitige Bild dunkler und blaugrün, das andere roth erscheinen läfst. Dieses rothe Licht kann sichtbar gemacht werden, wenn man mit dem seitlich beleuchteten Auge schwarze Buchstaben auf weifsem Grunde betrachtet; diese sehen hierbei oft leuchtend roth aus. Natürlich erscheint dann auch das dem seitlich beleuchteten Auge angehörige Halbbild eines in Doppelbilder aus einander geschobenen schwarzen Flecks auf weifsem Grund röthlich
793 in Vergleich mit dem des anderen Auges. Concentrirt man dagegen durch eine Linse grünes oder blaues Licht auf einen Punkt der Sclerotica, so ist das weifse Bild in diesem Auge rosenroth oder gelb. Da die Erklärung dieses Versuches bezweifelt worden ist,[1] so ist die Modification desselben mit den Uranglasplatten, wobei alle concurrirenden Umstände deutlicher zu übersehen sind, wohl überzeugender.

Die Erscheinungen des binocularen Contrastes erklären sich also von dem von uns eingehaltenen Standpunkte leicht. Fafst man dagegen, wie es früher meist geschah, die Contrastfarben als Veränderungen der Empfindung auf, welche durch die Reizung einer Netzhautstelle in den benachbarten hervorgerufen werden, so folgt auch für den binocularen Contrast mit Nothwendigkeit, dafs er durch Einwirkung der Empfindungen der einen Netzhaut auf die der anderen entstehe, und man hat deshalb hierin mit einen Grund für die angeborene anatomische Verbindung correspondirender Nervenfasern gesucht.

Es ist hier noch die von Dove, dem Entdecker des stereoskopischen Glanzes, aufgestellte Erklärung dieses Erscheinung zu erwähnen. Dove unterscheidet an glänzenden Körpern das von der Oberfläche reflectirte weifse und das aus den oberflächlichen Schichten der Substanz hervordringende gefärbte Licht. Glanz entsteht nach ihm dadurch, dafs man die beleuchtete Körpersubstanz hinter der beleuchteten Oberfläche sehe, also zwei Arten von Licht, das eine durch das andere durchscheinend. Er glaubt nun, dafs, wenn wir zwei Farben, z. B. Roth im einen, Blau im anderen Felde combiniren, wir auf verschiedene Entfernung derselben vom Auge schliefsen, weil wir verschiedene Accommodation anwenden müssen, um sie scharf zu sehen. Ich habe diese Erklärung nicht beibehalten, weil die seit Aufstellung derselben angestellten Versuche über Beurtheilung der Entfernung mittels der Accommodation, namentlich in einem Falle, wo, wie hier, die Convergenz der Augen constant erhalten werden mufs, es mir höchst unwahrscheinlich machen, dafs eine solche Wahrnehmung scheinbar verschiedener Entfernung der Farben möglich sei. Aufserdem tritt die Schwierigkeit ein, dafs Weifs und Schwarz zusammen combinirt auch Glanz geben. Hierbei glaubt Dove nun annehmen zu dürfen, dafs, weil Weifs die Pupille zusammenziehen macht, was ebenfalls bei stärkerer Accommodationsanstrengung geschieht, Schwarz sie aber erweitert, die Betrachtung von Weifs und Schwarz verschiedene Accommodationsgefühle gebe. Dagegen ist zu bemerken, dafs bei den vorliegenden Versuchen gleichzeitig ein Auge Weifs, das andere

[1] Fechner über den seitlichen Fenster- und Kerzenversuch. *Berichte der Kön. Sächsischen Ges. d. Wiss.* 1861. S. 27—56.

chwarz sieht und beide Pupillen dabei dieselbe mittlere Weite einnehmen, zweitens, afs alle Accommodation sich nicht auf die Mitte einer gleichfarbigen Fläche, ondern nur auf ihre Contoure beziehen kann, und nicht einzusehen ist, wie daraus n Unterschied des Accommodationsgefühls entstehen könne, dafs im einen Bilde Veifs rechts, Schwarz links von der Grenze, oder Weifs über, Schwarz unter der renze liegt, im anderen umgekehrt. Ich habe deshalb die oben gegebene Erklärung s die einfachere der ursprünglichen des berühmten Entdeckers dieser Erscheinung ı substituiren mir erlaubt.

Geschichtliches. Der Wettstreit der Sehfelder erregte schon früh die Aufmerksam- ait der Beobachter. DU TOUR benutzte ihn schon, um seine Meinung, dafs der Regel ıch nur ein Auge auf einmal sehe, und wir deshalb die Objecte einfach sähen trotz ır Anwesenheit zweier Augen, zu unterstützen. HALDAT wollte dagegen Mischung der ırben gesehen haben, was er mit der von NEWTON und später von WOLLASTON und MÜLLER angenommenen Hypothese von der anatomischen Vereinigung correspondirender 794
hnervenfasern in Zusammenhang brachte. Ihm schlossen sich an MÖNNICH, JANIN, ALTHER; während J. MÜLLER selbst, der die Lehre der Identität der Netzhautstellen ıd ihrer Consequenzen hauptsächlich ausgebildet hat und der gewifs am meisten dabei teressirt gewesen wäre, eine binoculare Farbenmischung zu sehen, keine solche erwähnt, ndern nur den Wettstreit gesehen hat. Wie auch die späteren Beobachter verschieden ıurtheilt haben, ist oben schon erwähnt. Es scheinen in dieser Beziehung sehr grofse dividuelle Unterschiede zu bestehen. So lange man die Empfindung einer Mischfarbe s eine einfache Wirkung zweier combinirter Ursachen ansah, schien eine solche npfindung nur in einer und derselben Nervenfaser zu Stande kommen zu können, und e Beobachtung wirklicher binocularer Farbenmischung schien deshalb den Beweis der ıatomischen Verschmelzung je zweier correspondirender Fasern liefern zu können, und ufste andererseits bei Annahme einer solchen Hypothese auch nothwendig erwartet erden. Der YOUNG'schen Farbentheorie gegenüber verliert freilich dieser Punkt sehr ı Wichtigkeit, wie schon oben hervorgehoben ist.

Ein wesentlicher Fortschritt war die Entdeckung der objectiven Bedeutung der noculären Vereinigung verschiedener Farben oder Helligkeiten in dem Phänomen des ereoskopischen Glanzes durch DOVE. Der oben besprochenen Theorie dieses Phänomens, ır sich auch BREWSTER anschlofs (dabei, wie es scheint durch ein Mifsverständnifs, OVE's eigene Theorie bekämpfend), stellte später zuerst J. J. OPPEL die oben vorgetragene nfachere entgegen. Ohne von diesem zu wissen, kam ich selbst auf dieselbe Ansicht ır Sache und hob die Wichtigkeit des Phänomens für die Theorie der Empfindungen rrespondirender Stellen hervor.

Die Phänomene des binocularen Contrastes wurden erst in den letzten Jahren ıdirt, namentlich durch FECHNER in einer sehr ausgedehnten Arbeit; einzelne dahin hörige Beobachtungen waren schon früher von E. BRÜCKE, H. MEYER, PANUM gemacht erden.

## § 33. Kritik der Theorien.

Nachdem ich die Übersicht der Thatsachen, die sich bei der Unter- 796
chung der Gesichtswahrnehmungen ergeben, beendigt habe, wird es nützlich in, noch einmal einen Rückblick auf den Zusammenhang der theoretischen orstellungen zu werfen und zu prüfen, welche den Thatsachen gegenüber s zulässig, welche als unzulässig oder unwahrscheinlich erscheinen.

Es ist dabei von vorn herein zu bemerken, dafs unsere Kenntnifs der erher gehörigen Erscheinungen noch nicht so vollständig ist, um nur eine ıeorie zu erlauben und jede andere auszuschliefsen. Bei der Wahl zwischen

den verschiedenen theoretischen Ansichten scheint mir unter diesen Umständen bisher mehr eine Neigung zu gewissen metaphysischen Betrachtungsweisen, als der Zwang der Thatsachen, ihren Einfluſs auf die verschiedenen Forscher ausgeübt zu haben, namentlich da in dem psychologischen Gebiete noch principielle Fragen hinzukommen, die in dem Bereiche der unorganischen Naturerscheinungen längst vollständig beseitigt sind.

Manche Naturforscher sind in der Lehre von den Gesichtswahrnehmungen, wie mir scheint, allzu bereit gewesen, allerlei anatomische Structuren zu supponiren oder auch neue Qualitäten der Nervensubstanz vorauszusetzen, welche nicht die geringste Ähnlichkeit mit dem haben, was wir sonst von den physikalischen und chemischen Eigenschaften der Naturkörper im Allgemeinen oder den Nerven im Besonderen bestimmt wissen, Structuren und Eigenschaften, welche nur dazu dienen, für ein oder einige wenige Phänomene des Sehens Erklärungen herzustellen, die wenigstens den äuſseren Anschein naturwissenschaftlicher Erklärungen haben sollten, und bei denen die ganz unzweifelhafte Einmischung psychischer Phänomene entweder ganz geleugnet oder als relativ unwichtig hingestellt wurde.

Ich gebe zu, daſs wir noch weit entfernt von einem naturwissenschaftlichen Verständniſs der psychischen Erscheinungen sind. Die Möglichkeit eines solchen Verständnisses entweder absolut zu leugnen, wie die Spiritualisten, oder andererseits absolut zu behaupten, wie die Materialisten, das kann wohl die Neigung zu dieser oder jener Richtung der Speculation treiben; dem Naturforscher, der sich an die factischen Verhältnisse zu halten und deren Gesetze zu suchen hat, ist dies eine Frage, für welche er keine Entscheidungsgründe besitzt. Man muſs nicht vergessen, daſs der Materialismus ebenso gut eine metaphysische Speculation oder Hypothese ist, wie der Spiritualismus, und ihm deshalb nicht das Recht einräumen, in der Naturwissenschaft über factische Verhältnisse oder factische Grundlage entscheiden zu wollen.

Welche Ansicht man aber auch von den psychischen Thätigkeiten habe und welche Schwierigkeit ihre Erklärung auch bieten mag, so sind sie jedenfalls factisch vorhanden und ihre Gesetze sind uns bis zu einer gewissen Grenze wohlbekannt aus der täglichen Erfahrung. Ich für mein Theil halte
797 es für sicherer, die Erklärung der Erscheinungen des Sehens anzuknüpfen an andere, freilich selbst noch weiterer Erklärung bedürftige, aber doch jedenfalls vorhandene und thatsächlich wirksame Vorgänge, wie es die einfacheren psychischen Thätigkeiten sind, als sie auf ganz unbekannte, nur *ad hoc* erfundene, durch keinerlei Analogie gestützte Hypothesen über die Einrichtung des Nervensystems und die Eigenschaften der Nervensubstanz zu gründen. Zu dem letzteren Schritte würde ich mich erst berechtigt glauben, wenn alle Versuche der Erklärung aus bekannten Verhältnissen gescheitert sein sollten.

Das letztere ist nun meines Erachtens aber bei der psychologischen Erklärung der Gesichtswahrnehmungen keineswegs der Fall; im Gegentheil

je aufmerksamer ich die Erscheinungen studirt habe, desto gleichmäfsiger und übereinstimmender hat sich überall die Einwirkung der psychischen Vorgänge gezeigt, und desto consequenter und zusammenhängender stellte sich mir dieses ganze Gebiet von Erscheinungen dar.

Ich habe deshalb keinen Anstand genommen, in den vorausgehenden Paragraphen die Thatsachen durch Erklärungen, die wesentlich auf die einfacheren psychischen Vorgänge der Ideenassociation gestützt sind, in Verbindung und in Zusammenhang zu setzen. Dafs eine solche Ansicht nicht neu ist, habe ich in den geschichtlichen Übersichten schon erwähnt. Wenn in der jüngsten Zeit die Ansichten einzelner Physiker und Physiologen, die diese Richtung einschlugen, wie Wheatstone, Volkmann, H. Meyer, Nagel, Classen, Wundt, mehr Opposition als Anerkennung fanden, so glaube ich, dafs dies, abgesehen von der Abneigung unseres Zeitalters gegen philosophische und psychologische Untersuchungen, davon herrührt, dafs es an einer zusammenhängenden Darstellung aller Erscheinungen dieses Gebietes fehlte, und deshalb von Seiten der unerledigten Erscheinungsgebiete immer wieder Zweifel aufstiegen gegen diejenigen, welche von den genannten Forschern bearbeitet waren. Ich habe deshalb die vorliegende Gelegenheit benutzt, um das ganze Gebiet nach dieser Richtung hin durchzuarbeiten und eine Übersicht davon zu geben.

Ich erlaube mir einen kurzen Überblick der zur Erklärung von mir benutzten Principien zu geben. Der Hauptsatz der empiristischen Ansicht ist: *Die Sinnesempfindungen sind für unser Bewufstsein Zeichen, deren Bedeutung verstehen zu lernen unserem Verstande überlassen ist.* Was die für den Gesichtssinn erhaltenen Zeichen betrifft, so sind sie verschieden nach Intensität und Qualität, das heifst nach Helligkeit und Farbe, und aufserdem mufs noch eine Verschiedenheit derselben bestehen, welche abhängig ist von der Stelle der gereizten Netzhaut, ein sogenanntes *Localzeichen*. Die Localzeichen der Empfindungen des rechten Auges sind durchgängig von denen des linken verschieden.

Wir fühlen aufserdem den *Grad der Innervation*, die wir den Augenmuskelnerven zufliefsen lassen. Die Anschauung der Raumverhältnisse und der Bewegung sind nicht nothwendig aus den Gesichtswahrnehmungen, oder wenigstens nicht aus diesen allein, herzuleiten, da sie bei Blindgeborenen ganz genau und vollständig auch unter Vermittelung des Tastsinnes gewonnen werden, sie können also für unseren Zweck als gegeben vorausgesetzt werden.

Durch Erfahrung können wir offenbar lernen, welche anderen Empfin- 798
dungen des Gesichts oder der anderen Sinne ein Object, welches wir sehen, uns machen wird, wenn wir die Augen oder unsern Körper fortbewegen und jenes Object von verschiedenen Seiten betrachten, betasten u. s. w. Der Inbegriff aller dieser möglichen Empfindungen in eine Gesammtvorstellung zusammengefafst, ist unsere *Vorstellung* von dem Körper, welche wir *Wahrnehmung* nennen, so lange sie durch gegenwärtige Empfindungen

unterstützt ist, Erinnerungsbild, wenn sie das nicht ist. In gewissen Sinne also, obgleich dem gewöhnlichen Sprachgebrauche widersprechend, ist auch eine solche Vorstellung von einem individuellen Objecte schon ein Begriff, weil sie alle die möglichen einzelnen Empfindungsaggregate umfafst, welche dieses Object, von verschiedenen Seiten betrachtet, berührt oder sonst untersucht, in uns hervorrufen kann. Das ist der thatsächliche und reelle Inhalt einer solchen Vorstellung von einem bestimmten Objecte; einen anderen hat sie nicht, und dieser Inhalt kann ohne Zweifel unter Voraussetzung der oben genannten Data durch Erfahrung gewonnen werden.

Die einzige psychische Thätigkeit, die dazu gefordert wird, ist die gesetzmäfsig wiederkehrende Association zweier Vorstellungen, die schon oft mit einander verbunden gewesen sind, welche Association desto fester und zwingender wird, je öfter die Wiederholung stattgefunden hat.

So weit also unsere durch Gesichtsbilder vermittelten Vorstellungen von den Objecten richtig sind, erklären sie sich einfach aus den vorangestellten Principien. Es fragt sich nun aber, wie ist es möglich, dafs Sinnestäuschungen vorkommen. Unter diesen müssen wir zwei Klassen unterscheiden. Erstens solche, bei denen die äufseren Umstände, unter denen die Einwirkung auf unsere Sinne geschieht, ungewöhnliche sind, wie bei der Betrachtung der optischen Bilder von Spiegeln, Linsen oder bei der Combination stereoskopischer Darstellungen. Hier wird der Eindruck, den bestimmte Objecte machen, unter ungewöhnlichen Bedingungen erzeugt. Obgleich wir dies wissen, ruft der Eindruck nach dem Gesetze der Vorstellungsassociationen doch die Vorstellung der der Regel nach mit ihm verbunden gewesenen anderen Sinneseindrücke, das heifst die Vorstellung des betreffenden Objects hervor.

Die zweite Klasse von Sinnestäuschungen ist diejenige, wobei wir wirkliche Objecte bei ungewöhnlichem Gebrauche unserer Sinnesorgane falsch sehen. Zu ihrer Erklärung ist zu beachten, dafs, sobald eine bestimmte Art des Gebrauchs unserer Sinneswerkzeuge geeignet ist, uns deutlichere und sicherere Wahrnehmungen der Objecte zu geben, als jede andere, wir jene, die wir deshalb die normale genannt haben, möglichst viel oder ausschliefslich anzuwenden uns einüben. Brauchen wir dann unsere Sinnesorgane in abweichender Weise, so rufen die gewonnenen Eindrücke uns naturgemäfs die Vorstellungen solcher Objecte hervor, welche beim normalen Gebrauche der Organe dieselben oder möglichst ähnliche Eindrücke gegeben haben würden.

Beim normalen Gebrauche der Augen kommt in Betracht, erstens, dafs in jedem Auge die Centralgrube der Netzhaut die deutlichste Unterscheidung nahe neben einander gelegener Bilder zuläfst, zweitens, dafs
799 wir deutliche Eindrücke nur behalten, wenn wir durch fortwährende Augenbewegungen die Ausbildung scharf gezeichneter Nachbilder vermeiden, drittens, dafs wir an einer ausgedehnten Fläche von gleichmäfsiger Beleuchtung alles deutlich gesehen haben, was an ihr deutlich zu sehen ist, wenn wir alle

ıeile ihres Umfangs deutlich gesehen haben. Daraus ergiebt sich, dafs wir im normalen Gebrauche der Augen beide Blicklinien auf den Punkt richten, r gerade unsere Aufmerksamkeit in Anspruch nimmt, und die Augen für ihn commodiren, dieselben aber niemals längere Zeit unbewegt lassen, was auch m eigenthümlichen Bewegungstriebe unserer Aufmerksamkeit nicht entsprechen ırde, vielmehr den Blick namentlich an den Contouren der gesehenen ›jecte entlang laufen lassen.

Daraus folgt die gewohnheitsmäfsige Verbindung der Bewegungen beider ugen miteinander und mit der Accommodation; eine Gewohnheit, gegen e so schwer anzukämpfen ist und die doch jeden Augenblick durch will-ırliche Anstrengung überwunden werden kann, wie oben gezeigt wurde, ›nn man die Augen allmälig unter Bedingungen bringt, wo nur mittels ıgewöhnlicher Verbindungen die Zwecke des Sehens erreicht werden können. ıraus folgt ferner die Schwierigkeit, den Blick längere Zeit gegen die ein-übte Gewohnheit auf einem Punkte festzuhalten, daraus der grofse Einflufs rvortretender Contouren auf unsere Aufmerksamkeit und auf die Bewegung ıseres Blicks; daraus auch weiter, dafs unsere Aufmerksamkeit so schwer einer genaueren Analyse der Erscheinungen des indirecten Sehens, des inden Flecks, der Doppelbilder und so weiter, festzuhalten ist, indem wir wohnheitsmäfsig sogleich unseren Blick auf die die Aufmerksamkeit schäftigenden Stellen hinzuwenden streben. Daher wir denn auch haupt-chlich wegen der gewohnheitsmäfsig eintretenden Augenbewegungen selbst e stärker auseinander weichenden Doppelbilder der vor uns befindlichen ›genstände nicht zu sehen pflegen und sie eben defshalb vielen, selbst wachsenen Leuten unbekannt bleiben.

Dafs die Verbindung zwischen der Raddrehung jedes einzelnen Auges ıd der Richtung der Gesichtslinie unter dieselbe Kategorie fällt, dafs sie ıter abgeänderten Bedingungen des Sehens zu Gunsten der optischen vecke selbst abgeändert werden kann, habe ich oben gezeigt und versucht e Sicherheit der Orientirung, vermöge deren wir die unveränderte Lage hender Gegenstände trotz der Verschiebungen ihres Bildes auf der Netzhaut kennen, als denjenigen Zweck nachzuweisen, der durch die Erfüllung des STING'schen Gesetzes für unsere Augenbewegungen so weit als möglich reicht wird.

Da nachweisbar zu Gunsten von optischen Zwecken von allen diesen ›setzen der Augenbewegungen Ausnahmen unter dem Einflusse willkür-her Anstrengung eintreten können, so können diese Gesetze nicht auf ›chanisch wirkende anatomische Einrichtungen begründet sein; andererseits lte ich es nicht für unmöglich, sondern sogar für wahrscheinlich, dafs das achsthum der Muskeln und vielleicht selbst die Leitungsfähigkeit der ›rvenbahnen sich den Forderungen, die an sie gemacht werden, im Laufe des individuellen Lebens und vielleicht selbst durch Vererbung im Laufe des ›bens der Gattung so anpafst, dafs die geforderten zweckmäfsigsten Be-›gungen auch die leichtesten werden. Jedenfalls ist dieser anatomische 800

Mechanismus, so weit ein solcher besteht, nur erleichternd, nicht zwingend.

Mittels der Augenbewegungen ist es ferner möglich, die Ordnung der gesehenen Punkte im Gesichtsfelde kennen zu lernen, das heifst, zu lernen, welche Localzeichen der Empfindungen den einander unmittelbar benachbarten Punkten entsprechen. Das specielle Gesetz der Augenbewegungen bestimmt dann weiter, welche Raumgröfsen des Gesichtsfeldes ihrer Gröfse nach genau mit einander verglichen werden können, welche nicht. Genau verglichen werden diejenigen, deren Bild durch blofse Bewegung des Auges auf denselben Punkten oder Linien der Netzhaut abgebildet werden kann; eine Regel, welche durch die Thatsachen durchaus bestätigt wird. Dagegen finden sich bei der Vergleichung solcher Raumgröfsen, die nicht auf denselben Netzhauttheilen abgebildet werden können, theils constante, theils inconstante Fehler. Die constanten Fehler lassen sich zum Theil darauf zurückführen, dafs wir (wenigstens als Kinder, während der Ausbildung unseres Auges) als häufigstes Gesichtsobject entferntere Gegenstände und den bis zu ihnen hin sich erstreckenden Fufsboden vor Augen haben. Ich erinnere an die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane und an die falsche Zeichnung der Quadrate.

Endlich zeigt sich der Einflufs des Gesetzes der Augenbewegungen auch in der Führung der scheinbar geraden (oder kürzesten) Linien des Gesichtsfeldes. Verlegen wir die Blicklinie in ihre Primärlage, welche wir als ihre häufigste und wichtigste Stellung betrachten dürfen, so sind es diejenigen Linien, die nach dem Gesetze der Augenbewegungen sich in sich selbst verschieben können.

Ich habe die Ableitung dieser Gesetze auf gar keine bestimmte Annahme über die Art der Localzeichen begründet. Sie würde passen, auch wenn diese Zeichen ganz willkürlich über die Netzhaut ausgewürfelt wären, ohne dafs irgend welche Ähnlichkeit der Localzeichen benachbarter Punkte vorausgesetzt würde. Es würde dadurch allerdings die Schwierigkeit der Einübung beträchtlich erhöht werden. Ich halte es dagegen nicht für unwahrscheinlich und der Analogie anderer organischer Einrichtungen gemäfs, dafs die Localzeichen benachbarter Punkte einander ähnlicher seien, als die entfernter Punkte, und dafs somit die Art des Localzeichens eine continuirliche Function der Coordinaten der Netzhautpunkte sei. Indessen wie auch dieses System der Localzeichen, von welcher Art sie selbst sein mögen, so kann ihre besondere Einrichtung die Orientirung wohl erleichtern; aber auch hier fordern die Consequenzen der empiristischen Theorie, mit denen die Erscheinungen durchaus übereinstimmen, dafs jede solche Einrichtung nur erleichternd für die Einübung des Augenmaafses, nicht entscheidend für seine definitiven Resultate sei.

Zu diesen anatomischen Einrichtungen gehört dann auch die Zahl der empfindlichen Elemente zwischen je zwei Netzhautpunkten. Diese mag namentlich bei der Unterscheidung sehr kleiner Distanzen nicht unwichtig

sein, nach dem Gesetze, daſs deutlich unterscheidbare Gröſsen beim Mangel anderer Hilfsmittel der Beurtheilung uns gröſser erscheinen, als undeutlich unterscheidbare. Daſs die Anzahl der empfindlichen Elemente bei der Schätzung der gröſseren Distanzen ohne allen Einfluſs sei, ist oben gezeigt worden.

Für die empiristische Theorie ist es übrigens ganz gleichgültig, wie 801
die Netzhaut gestaltet ist, wie das Bild auf ihr liegt und wie es verzerrt ist, wenn es nur scharf begrenzt ist; sie hat es nur und allein zu thun mit der Projection der Netzhaut, welche die optischen Medien nach auſsen entwerfen.

Die Richtung, in der die gesehenen Objecte sich zu unserem Körper befinden, wird beurtheilt mit Hilfe der Innervationsgefühle der Augenmuskelnerven, aber fortdauernd controllirt nach dem Erfolge, das heiſst nach der Verschiebung der Bilder, welche die Innervationen hervorbringen. Sehen wir durch Prismen und nehmen wir dabei Bewegungen mit unserem Körper und unseren im Gesichtsfelde erscheinenden Händen vor, so lernen wir bald, trotz der falschen Richtung der einfallenden Strahlen durch das Prisma richtig sehen. Die Erscheinungen des Bewegungsschwindels zeigen ebenso eine Veränderung in der Beurtheilung der Wirkung gewisser Innervationen an.

Wir beurtheilen den absoluten Grad der Convergenz unsicherer, als die gleich gerichteten Bewegungen beider Augen, vielleicht weil für die Convergenz eine anhaltendere Ermüdung zu Stande kommen kann, welcher nicht durch Ermüdung für Divergenz das Gleichgewicht gehalten wird, während eine längere Wendung der Augen nach rechts nicht leicht ohne dazwischenfallende Wendungen nach links vorkommen möchte, wobei die Ermüdung sich gleichmäſsiger auf die antagonistischen Muskeln vertheilt.

Theils deshalb, theils aber auch, weil wir consequent die subjectiven Momente in unseren Sinnesempfindungen unbeachtet lassen und also bei Fixirung eines nahen Gegenstandes die ganze Summe von Gesichtseindrücken und Innervationsgefühlen nur als das sinnliche Zeichen für ein dort gelegenes Object betrachten, ohne zu analysiren, welche Eindrücke dem rechten oder linken Auge angehören, welche Stellung dieses oder jenes hat, beurtheilen wir die Richtung der Objecte gegen unseren Körper nach der gemeinsamen mittleren Richtung beider Augen, auch wenn wir nur mit einem Auge das Object wirklich sehen. Es entspricht dies der Regel, daſs wir bei Eindrücken, die wir unter ungewöhnlicher Art des Gebrauches der Organe (einäugigem Sehen) erhalten, nach der Ähnlichkeit mit den Eindrücken bei normalem Gebrauch (doppeläugigem Sehen) urtheilen: daher die von J. Towne und E. Hering aufgefundene Regel für die Projection der Gesichtsbilder nach auſsen, mit den Modificationen, die ich für die Raddrehungen bei schrägen Blickrichtungen habe anbringen müssen.

Wir kommen jetzt zum doppeläugigen Sehen. So lange wir im objectiven Gebiete verweilen, beim Sehen von Körpern oder von stereo-

skopischen Bildern, sind die Erscheinungen einfach zu erklären und leicht verständlich nach der empiristischen Theorie; auch ist der Einfluſs der Erfahrung in diesem Gebiete meistens selbst von den Anhängern nativistischer Theorien, mit Ausnahme einiger der neusten Arbeiten, anerkannt worden. Die Täuschungen, welche hier vorkommen, erklären sich aus der Unsicherheit der Schätzung der Convergenz. Wenn wir den Augen Bilder zeigen, welche von reellen Objecten nur bei einem bestimmten Grade der Convergenz gegeben sein könnten, so geben wir ihnen die entsprechende Deutung, auch wenn zur Zeit wirklich ein anderer Grad von Convergenz besteht.
802 Dazu kommt, daſs wir wegen der mangelnden Sicherheit des Convergenzgefühls, auch keine Sicherheit in der Beurtheilung der Differenzen der Raddrehungen haben, welche die convergenten Augen bei gehobener und gesenkter Blickebene zeigen. Wenn daher die Abweichungen in den Linien der gesehenen Bilder uns nicht aufmerksam machen, daſs Drehung vorhanden sei, so urtheilen wir so, als ob keine da wäre, und es treten dann die von Recklinghausen und von Hering beschriebenen Täuschungen ein.

Wenn nun aber bei festgehaltenem Fixationspunkte die Aufmerksamkeit der flächenhaften Anordnung der Gegenstände im Gesichtsfelde zugelenkt wird, so sieht jedes Auge eine andere Anordnung derselben und die beiden Bilder können nicht ganz congruiren; wenn also einzelne Punkte derselben congruiren, so müssen andere Punkte der Bilder disparat sein und diese erscheinen dann an zwei verschiedenen Stellen des gemeinschaftlichen Sehfeldes, als Doppelbilder. Punkte der Netzhäute, beziehlich Punkte der beiden Sehfelder, deren Bilder im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde zusammenfallen, hat man identische oder correspondirende Punkte genannt.

In Bezug auf die Natur der correspondirenden Punkte ergeben nun die Thatsachen mit Entschiedenheit so viel:

1. Die Bilder correspondirender Punkte werden in der Regel in dieselbe, die Bilder nicht correspondirender Punkte in verschiedene Stellen des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes verlegt; doch kommen kleinere Abweichungen von beiden Theilen dieser Regel vor, wenn wir die beiden Bilder zur Anschauung eines körperlichen Objects vereinigen.

2. Die Empfindungen, welche durch die Erregung correspondirender Netzhautpunkte hervorgebracht werden, sind nicht identisch, sondern verschieden. Wir müssen dies nothwendig schliefsen aus der Thatsache, daſs wir auch beim Lichte des elektrischen Funkens von einer stereoskopischen Linienzeichnung immer das richtige Relief erhalten. Wären die Empfindungen correspondirender Punkte ununterscheidbar gleich, so müſste ebenso oft und ebenso leicht das umgekehrte Relief erscheinen.[1] Wir schliefsen dasselbe zweitens daraus, daſs verschiedene Beleuchtung oder Färbung entsprechender

[1] Donders giebt an (*Anomalies of accommodation and refraction.* London 1864, p. 162 und 166), daſs bei unbewegtem Auge oft das pseudoskopische Bild statt des stereoskopischen erscheine. In einer später erschienenen Abhandlung im *Nederlandsch Archief* (1866), wo er ähnliche Vorsichtsmaaſsregeln angewendet hat, wie oben S. 890 angegeben sind, hat er aber im Wesentlichen dieselben Resultate, wie Aubert und ich erhalten.

Flächen in zwei stereoskopischen Bildern eine andere Anschauung, nämlich die des Glanzes, hervorbringt als jede, wie immer gewählte, gleichartige Färbung beider Flächen. Dafs hierbei Augenbewegungen und der Wettstreit der beiden Sehfelder keinen Einflufs haben, zeigt sich namentlich bei der Beleuchtung auch dieser Bilder mit dem elektrischen Funken.

3. Unter dem Einflufs habitueller abnormer Augenstellungen bei Schielenden ändert sich das Verhältnifs der Correspondenz der beiden Netzhäute.

Hieraus schliefse ich, dafs jede anatomische Hypothese unzulässig ist und unvereinbar mit den Thatsachen, welche eine vollständige Verschmelzung der beiderseitigen Empfindungen voraussetzt, also namentlich jede, welche eine Vereinigung der von correspondirenden Netzhautstellen kommenden Fasern zu einer Faser annimmt, die den beiderseitigen Eindruck ungetrennt 803
dem Gehirne zuleiten soll. Nur eine solche Form der anatomischen Hypothese würde mir zulässig erscheinen, wonach beide Eindrücke theils gesondert, theils aber auch mit einer gemeinsamen oder gleichen Wirkung im Gehirn zur Perception kommen; also etwa so, dafs die Faser *A* von dem rechten Auge sich spaltet in die Fasern *a* und *α*, die correspondirende Faser *B* in die Fasern *b* und *β*, dafs *a* und *b* gesondert in das Centralorgan des Sehens eintreten und verschiedene Eindrücke hervorbringen, *α* und *β* aber sich vereinigen, um einen beiden gemeinsamen dritten Eindruck zu machen.

Eine so modificirte Annahme würde mir zulässig, aber weder wahrscheinlich noch nothwendig erscheinen. Vielmehr ergeben die Consequenzen der bisher aufgestellten Erklärungen auch hier eine, wie mir scheint, vollständig genügende Erklärung ohne eine solche Annahme. Beim normalen Sehen sind immer die Blicklinien auf denselben objectiven Punkt gerichtet, dem gleichzeitig auch die Aufmerksamkeit zugewendet ist; auf allen anderen Punkten der Netzhäute dagegen kommen bald gleiche, bald ungleiche Eindrücke vor; daher wird vor allen Dingen die Localisation der Eindrücke der Netzhautgruben eine übereinstimmende. Ist es dagegen wegen einer Erkrankung der Muskeln nicht möglich, die dazu gehörige Stellung der Augen herbeizuführen, und wird dafür eine andere Stellung habituell, so bestimmt diese auch, mit welchem Punkte der anderen Netzhaut die Netzhautgrube jedes Auges correspondent wird.

Die Identität der Meridiane bestimmt sich danach, wo sich am häufigsten Reihen derselben Punkte abbilden. Dies geschieht zunächst in der Primärstellung der Blickebene, die wir als mittlere und gewöhnlichste Stellung dieser Ebene betrachten dürfen, auf den Netzhauthorizonten. Demnächst scheinen bei vielen normalsichtigen Augen die nach dem Horizont hinlaufenden Linien des Fufsbodens einen bestimmenden Einflufs auf die Lage der verticalen correspondirenden Meridiane auszuüben.

Sind diese beiden Paare correspondirender Meridiane bestimmt, so bestimmen sich die übrigen Abmessungen der Sehfelder und damit die Lage der congruirenden Punkte in beiden vollständig nach dem oben beschriebenen Verfahren mittels der Augenbewegungen.

Da hiernach die Vergleichung der Dimensionen beider Sehfelder und die Lage der congruenten Punkte in ihnen ein Ergebniſs der Ausbildung des Augenmaaſses ist, so sind *kleine Irrungen* in diesen Abmessungen möglich, wenn sich mit groſser Lebhaftigkeit die Anschauung körperlicher Einheit der beiden Bilder aufdrängt. Sind die Entfernungen der Doppelbilder von einander dagegen sehr auffallend, so kann eine annähernd richtige Deutung derselben mit der Wahrnehmung ihrer Trennung im Gesichtsfelde zusammen bestehen. Alles, was die Vereinigung der Doppelbilder zum körperlichen Anschauungsbilde erschwert oder die Vergleichung ihrer Lage im Gesichtsfelde erleichtert, Vermeidung aller Augenbewegungen und Übung in ihrer Beobachtung macht sie leichter sichtbar. Je nach der Richtung der Aufmerksamkeit kann man solche, die an der Grenze der Wahrnehmbarkeit liegen, auch beim Lichte des elektrischen Funkens, welches allen Einfluſs
804 der Augenbewegungen aufhebt, bald sehen, bald nicht sehen. Alles dies sind Umstände, die mit der aufgestellten Erklärung sehr gut zusammenstimmen und aus ihr hergeleitet werden können.

Die Erscheinungen des *Wettstreits* endlich hängen von der Eigenthümlichkeit unseres Bewuſstseins ab, daſs es entweder nur einen Eindruck auf ein Mal, oder nur ein solches Aggregat von Eindrücken aufnehmen kann, die sich zu einer einfachen Vorstellung verbinden. Abgesehen von den bekannten täglichen Erfahrungen zeigt sich diese Eigenthümlichkeit desselben sehr deutlich bei der bekannten Zeitdifferenz zwischen den Gesichts- und Gehörwahrnehmungen in der astronomischen Beobachtung der Sterndurchgänge, ferner in der kleinen Zahl von Gesichtsobjecten, die man beim Lichte des elektrischen Funkens und während der kurzen Nachdauer seines Eindrucks wahrnehmen kann. Die Form der Vereinigung der Eindrücke beider Sehfelder ist die Anschauung körperlicher Objecte. Wo diese wegen der Art der beiden Bilder miſslingt, tritt das im Wettstreit der Sehfelder sich zeigende Schwanken der Aufmerksamkeit ein, wenn diese nicht durch scharf gezeichnete Contouren des einen Feldes gefesselt ist. Ich habe oben die Methoden beschrieben, nach denen es gelingt, die Aufmerksamkeit auf eines der Felder zu fesseln und dem Schwanken ein Ende zu machen. Dadurch besonders kann auch der Nachweis geführt werden, daſs dieser Wettstreit nur ein Phänomen der Aufmerksamkeit ist.

Aus dieser Übersicht der aufgestellten Erklärungen geht hervor, daſs dabei von den psychischen Vorgängen nur die unwillkürlich erfolgenden der Ideenassociation und des unwillkürlichen Flusses der Vorstellungen in Betracht kommen, welche nicht unter der directen Herrschaft unseres Selbstbewuſstseins und unseres Willens stehen, wenn wir auch dadurch, daſs wir selbstbewuſste Vorstellungen und Zwecke mit jenen in Concurrenz bringen, einen gewissen Einfluſs auf deren Lauf haben können. Eben darin liegt es nun, daſs die Ergebnisse jenes Ablaufs der Vorstellungen uns entgegentreten als durch eine Macht gegeben, die wir nicht oder nur zum kleinen Theile beherrschen können, und die unserem Willen und Selbstbewuſstsein daher

als eine fremde, objective **Naturmacht** entgegentritt, gerade wie die unmittelbar von aufsen gegebenen sinnlichen Empfindungen. Was also von Resultaten psychischer Vorgänge dieser Art sich mit den Sinnesempfindungen verbindet, erscheint uns ebenso durch äufseren Einflufs gegeben wie die unmittelbare Empfindung, und nicht durch selbstbewufste und freie Überlegung gefunden, nicht von uns **erdacht**. In dieser Beziehung hat die empiristische Ansicht vielfältiges Mifsverständnifs von Anhängern sowohl, als von Gegnern erfahren, und ich mache deshalb auf diesen Punkt noch besonders aufmerksam. Will man diese Vorgänge der Association und des natürlichen Flusses der Vorstellungen nicht zu den Seelenthätigkeiten rechnen, sondern sie der Nervensubstanz zuschreiben, so will ich um den Namen nicht streiten. Hier würde die empiristische Theorie mit derjenigen Form der nativistischen, wie sie PANUM zum Beispiel aufgestellt hat, sich vielleicht vereinigen lassen, nur dafs er als natürlich gegeben ansieht, was mir nur durch die Erfahrung gewonnen zu sein scheint.

Was nun die verschiedenen **nativistischen Theorien** betrifft, so ist ihr Kernpunkt, dafs sie die Localisation der Eindrücke im Gesichtsfelde von einer angeborenen Einrichtung ableiten, entweder so, dafs die Seele eine 805
directe Kenntnifs der Ausdehnungen der Netzhaut haben soll, oder so, dafs in Folge der Reizung bestimmter Nervenfasern gewisse Raumvorstellungen vermittels eines angeborenen, nicht weiter definirbaren Mechanismus entstehen. J. MÜLLER namentlich hat diese Ansicht in der ersten Form durchgeführt. Er sagt:[1] „Der Begriff des Raumes kann nicht erzogen werden, vielmehr ist die Anschauung des Raumes und der Zeit eine nothwendige Voraussetzung, selbst Anschauungsform für alle Empfindungen. Sobald empfunden wird, wird auch in jenen Anschauungsformen empfunden. Was aber den erfüllten Raum betrifft, so **empfinden** wir überall nichts, als nur uns selbst räumlich, wenn lediglich von Empfindung, von Sinn die Rede ist; und so viel unterscheiden wir von einem objectiven erfüllten Raum durch das Urtheil, als Raumtheile unserer selbst im Zustande der Affection sind, mit dem begleitenden Bewufstsein der äufseren Ursache der Sinneserregung. Die Netzhaut sieht in jedem Sehfelde nur sich selbst in ihrer räumlichen Ausdehnung im Zustande der Affection; sie empfindet sich selbst in der gröfsten Ruhe und Abgeschlossenheit des Auges räumlich dunkel."

Diese Ansicht erweitert daher die von KANT aufgestellte Ansicht, dafs Raum und Zeit ursprünglich gegebene Formen unserer Anschauungen seien, dahin, dafs auch die specielle Localisation jedes Eindrucks durch die unmittelbare Anschauung gegeben sei. Die meisten deutschen Physiologen folgten dieser Ansicht von MÜLLER, und es wurden von ihnen mancherlei Erklärungen der Gesichtserscheinungen auf die besonderen Eigenthümlichkeiten der Form der Netzhautbilder gebaut. So hat RECKLINGHAUSEN[2] die Abweichung der scheinbar rechten Winkel dadurch zu erklären versucht,

---

[1] J. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinnes* S. 54 ff.
[2] RECKLINGHAUSEN, Netzhautfunctionen, *Archiv für Ophthalmologie*. V. 2, S. 128—141.

dafs die Fläche der Netzhaut schief gegen die Gesichtslinie des Auges gerichtet sei und deshalb die optischen Bilder eines rechten Winkels in dem Netzhautbilde schiefwinklig werden könnten. Diese Beschaffenheit der Netzhautbilder sollte dann unmittelbar wahrgenommen werden können. E. Hering[1] und A. Kundt[2] haben sogar angenommen, die Seele schaute die Entfernungen zwischen zwei Netzhautpunkten direct nicht nach dem Bogen auf der Netzhaut, sondern nach der Sehne an, und versuchten daraus die Erklärung der oben beschriebenen Täuschungen der monocularen Localisation im Gesichtsfelde herzuleiten. Dafs diese Hypothese zur Erklärung derjenigen Erscheinungen, zu deren Gunsten sie allein erfunden ist, keineswegs genügt, ist oben schon angeführt worden.

Die besprochene Annahme der nativistischen Theorien ist eigentlich eine Verzichtleistung auf jede Erklärung der Localisationsphänomene. Darüber läfst sich natürlich nicht weiter rechten, und namentlich kann es J. Müller in keiner Weise zum Tadel gereichen, dafs er zu einer Zeit, wo noch alle Beobachtungen über das Gesetz der Augenbewegungen fehlten, und aus einem Versuche, diese für die Erklärung der Localisation zu gebrauchen, nichts als ganz vage Folgerungen gezogen werden konnten, in seinen Er-
806 klärungsversuchen nicht weiter zu gehen geneigt war. Dafs dagegen aus dem Gesetze der Augenbewegungen, soweit wir es bisher in seinen Grundzügen kennen, sich auch die Grundzüge des Augenmaafses herleiten lassen, die in der nativistischen Ansicht gar keine weitere Erklärung finden, habe ich oben zu zeigen mich bemüht.

Eine nothwendige Consequenz der erwähnten Ansicht, dafs die Localisation der Eindrücke im Gesichtsfelde ursprünglich gegeben sei, ist dann die, dafs auch ursprünglich gegeben sein mufs, welche Punkte der einen Netzhaut mit denen der anderen dieselbe Localisation geben, also *correspondirend*, oder, wie die nativistische Ansicht es bezeichnet hat, *identisch* sind. Hier in der Lehre von der angeborenen und anatomisch begründeten Identität, welche also als eine nothwendige Consequenz der nativistischen Ansicht betrachtet werden mufs, treten nun aber die schon oben bezeichneten wesentlichen Schwierigkeiten dieser Ansicht auf; daher dieses Gebiet auch immer der Haupttummelplatz der Streitigkeiten gewesen ist.

Erstens nämlich konnten die Beobachtungen der körperlich ausgedehnten Objecte schon lehren, und zeigte namentlich die Erfindung des Stereoskops durch Wheatstone, dafs wir keineswegs immer Doppelbilder sehen, wo nach der strengen Identitätstheorie dergleichen zu erwarten sind, und dafs dieselben unter dem Einflusse der Anschauung körperlicher Ausdehnung verschwinden. Nun wurde zwar von Brücke mit Recht der grofse Einflufs der Augenbewegungen hierbei hervorgehoben; indessen auch wenn man diesen Einflufs eliminirt, bleibt doch immer die Thatsache bestehen, dafs auch der

---

[1] Hering, *Beiträge zur Physiologie.* Heft 1, S. 65—80.
[2] Kundt, *Poggendorff's Annalen.* 1863. CXX, 118—158.

geübteste Beobachter gewisse einander nahe stehende ähnliche Doppelbilder mit einander untrennbar verschmilzt, während er einander eben so nahe stehende ähnliche Bilder im monocularen Felde, oder in der Färbung verschiedene Bilder im binocularen Felde mit der gröfsten Leichtigkeit von einander unterscheidet. Noch gröfseren Anstofs haben die Anhänger der Identitätstheorie an der von WHEATSTONE behaupteten Thatsache genommen, dafs unter Umständen auch die Eindrücke identischer Netzhautpunkte getrennt und an zwei verschiedene neben einander liegende Stellen des Objects verlegt werden könnten. Dafs das letztere aber eine nothwendige Consequenz des ersteren sei und bei richtig angestellten Versuchen auch thatsächlich beobachtet werde, habe ich oben ausgeführt. Man mufs nur nicht, wie es von den Gegnern der Behauptung WHEATSTONE's immer geschehen ist, verlangen, dafs bei der Trennung identischer Eindrücke viel mehr geleistet werde, als bei der Vereinigung disparater Eindrücke unter gleichen Umständen geleistet werden kann.

Das wesentliche Gewicht der Thatsachen anerkennend, stellte PANUM eine Modification der Identitätstheorie auf, wonach jeder Punkt $a$ der einen Netzhaut einem gewissen correspondirenden Empfindungskreise $A$ in der andern identisch sein sollte, so dafs das Bild des Punktes $a$ verschmelzen könnte mit einem Bilde auf jedem einzelnen Punkte von $A$, welches ähnliche Contouren darböte. Dabei sollte aber eine verschiedene Tiefenwahrnehmung entstehen, wenn $a$ mit verschiedenen Punkten des Kreises $A$ verschmölze. Ob es mit diesem oder jenem verschmölze, sollte davon abhängen, wo sich im Empfindungskreise $A$ eine Contour vorfände, die der durch $a$ hinziehenden ähnlich sei. Aus den Wettstreitserscheinungen beweist 807
PANUM die dominirende Macht der Contouren im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde beider Augen, wobei er freilich wohl den Sieg der Contouren als zu unbedingt und dauernd betrachtet hat. Wettstreit findet nach ihm hauptsächlich zwischen unähnlichen, aber nahe gleich starken Farben und Contouren statt. Ähnliche streben zu verschmelzen.

Wenn man die von PANUM aufgestellten Sätze blos als zusammenfassenden Ausdruck der Thatsachen ansehen will, was er selbst auch als das Wesentlichere und Wichtigere betont, so sind sie der Hauptsache nach richtig. Ich würde gegen seine Darstellung der Thatsachen nur einzuwenden haben, 1. dafs ich mich von der wirklichen Existenz binoculärer Mischfarben auch in den von ihm beschriebenen Versuchen nicht habe überzeugen können, 2. dafs Herr PANUM keine genügenden Methoden die Aufmerksamkeit zu fesseln, angewendet und daher die grofse Rolle, welche die Aufmerksamkeit bei dem Wettstreite der Sehfelder und bei der Unterscheidung der Doppelbilder spielt, nicht genügend erkannt hat, 3. dafs er die Augenbewegungen beim Fixiren der Bilder für theilweis unwillkürliche Reflexbewegungen hält, während ich selbst bei mir wohl eine Neigung zu gewissen gewohnheitsmäfsigen Stellungen anerkennen kann, die aber nicht im geringsten die Willkür der Bewegung beeinflufst, wenn ich eine andere Stellung der Blick-

punkte hervorzubringen wünsche, 4. dafs bei der Verschmelzung der Doppelbilder doch nicht blos die Ähnlichkeit der Contouren und der Grad der Annäherung an eine correspondirende Lagerung entscheidet, sondern auch die Anwesenheit oder Abwesenheit anderer Vergleichungspunkte für die richtige Abmessung der scheinbaren Lage beider Contoure im gemeinsamen Gesichtsfelde. Das Letztere hatten schon Bergmann's[1] Versuche gezeigt, und in ähnlicher Weise zeigt es der oben S. 892 beschriebene Versuch an *Fig. U*, selbst wenn man von Volkmann's Versuchen absehen wollte, gegen welche Panum den Einwand erhoben hat, dafs in ihnen kleine, wenn auch unbedeutende Veränderungen der Contouren durch zugesetzte Linien und Punkte angebracht sind, die an der Stelle das Verschmelzen hindern. Aber wie Bergmann's und meine Versuche zeigen, hindern auch correspondirend gelegene Linien, welche beide auf der gleichen Seite von zwei disparaten liegen und die Ähnlichkeit von deren Contouren gar nicht beeinträchtigen, das Verschmelzen derselben, welches ohne die Anwesenheit jener correspondirenden Linien eintreten würde.

Die von Herrn Panum augestellten Erklärungen sind nun nach den Verwahrungen und Erläuterungen derselben, die er in seiner zweiten Arbeit[2] dazu gegeben hat, kaum etwas mehr, als dafs jede Klasse von Beobachtungen zu einem besonderen Vermögen der Nervenapparate erhoben wird. So schreibt er den beiden Augen oder ihren Nervenapparaten eine binoculare Energie der Farbenmischung zu, vermöge deren sich binocular gesehene Farben zur Mischfarbe vereinigen können. Daneben giebt es aber auch eine andere binoculare Synergie des Alternirens, vermöge deren binocular gesehene Farben sich auch nicht vereinigen, sondern in Wettstreit
808 gerathen können. Die letztere soll überwiegen, wenn die beiderseitig einwirkenden Erregungen sehr intensiv, oder die Erregbarkeit des Sehorganes sehr grofs ist. Disparate Bilder können vereinigt werden mittels einer dritten binocularen Synergie des Einfachsehens durch correspondirende Empfindungskreise. Die Tiefenwahrnehmung endlich kommt zu Stande mittels einer vierten specifischen Synergie der binocularen Parallaxe.

Die Contouren der Figuren werden als besonders starke Nervenreize betrachtet und die Augenstellungen im Wesentlichen als unwillkürlich eintretende Reflexbewegungen, und auch in Bezug auf die genannten Synergien betont es Herr Panum besonders, dafs sie als physiologische, nicht als psychische Kräfte zu betrachten seien.

Ich mufs gestehen, dafs ich nicht klar verstanden habe, in welcher Weise Herr Panum sich denkt, dafs neben der Verschmelzung disparater Punkte in correspondirenden Empfindungskreisen doch der Hauptsatz der Identitätslehre, wonach die Eindrücke identischer Stellen verschmelzen müssen, noch bestehen könne, auf welchen wirklichen oder anscheinenden Wider-

---

[1] Bergmann, *Göttinger gelehrte Anzeigen*. 1859. S. 1055—1063.

[2] Panum, Reichert und du Bois-Reymond, *Archiv für Anat. und Physiol.* 1861. S. 63—111.

spruch Herr VOLKMANN aufmerksam gemacht hatte. Herr PANUM erklärt, seine Sätze behaupteten, daſs die Eindrücke, welche correspondirenden Empfindungskreisen angehören, verschmelzen können, die aber auf identischen Stellen verschmelzen müſsten. Daraus würde aber doch immer folgen, daſs, so oft der Eindruck *a* einer Netzhaut mit dem einer disparaten Stelle *β* verschmilzt, nothwendig auch *a* mit dem der identischen Stelle *α* der zweiten Netzhaut, folglich auch *α* und *β*, zwei Stellen desselben Bildes mit einander verschmelzen müssen, wenn nicht eines von ihnen ausgelöscht wird, was jedenfalls in vielen Fällen, wie in den oben beschriebenen Versuchen, nicht der Fall ist. In Figuren wie *M* und *N Taf. V* sind beide identisch liegende, aber nicht verschmelzende Linien durch Contouren hervorgehoben; keine von ihnen verschwindet durch Wettstreit mit der andern, sonst könnte keine stereoskopische Tiefenwahrnehmung durch ihre Vereinigung mit einer disparaten Linie des andern Bildes auch in der Beleuchtung durch den elektrischen Funken zu Stande kommen. Ebenso müssen zwischen zwei verschmelzenden disparaten Grenzlinien verschieden gefärbter Flächen immer gewisse identische Punkte existiren, für welche der Wettstreit der durch die benachbarten Contoure hervorgetriebenen Farben im Gleichgewicht ist und die also beide gesehen und dabei an verschiedene Punkte des angeschauten körperlichen Objects verlegt werden. Übrigens ist dieser Streitpunkt, so viel ich einsehe, unerheblich für die Theorie; ich muſs ihn auſserdem nach dem Ergebniſs meiner eignen Beobachtungen zu Gunsten von WHEATSTONE's Behauptung als erledigt betrachten. Wenn man auch die Nothwendigkeit der Verschmelzung der Eindrücke auf identischen Stellen fallen läſst, so behalten dieselben doch immer die factische Bedeutung, daſs ähnliche Eindrücke beider Netzhäute desto leichter verschmelzen, je näher sie an identische Stellen treffen. Das scheint mir auch die einzig richtige Beschreibung des Identitätsverhältnisses zu sein, was man übrigens auch als seinen Grund betrachten möge, und dadurch daſs Herr PANUM dieses Verhältniſs durch bezeichnende Ausdrücke scharf hervorgehoben hat, hat er einen wesentlichen Fortschritt in der Lehre vom binocularen Sehen *809*
bewirkt, den ich gern anerkenne; auch würde ich gewiſs der Letzte sein, der gegen seine Scheu und Vorsicht in der theoretischen Verallgemeinerung der beobachteten Thatsachen Einspruch erhöbe, und würde seine theoretischen Versuche, die er selbst als Nebensache zu betrachten auffordert, hier nicht kritisirt haben, wenn ich nicht überhaupt die möglichen Erklärungsformen des vorliegenden Gebiets zu besprechen genöthigt wäre, und wenn nicht ein Theil von PANUM's theoretischen Ansichten auch die Grundlage der unten zu besprechenden neueren Theorie von E. HERING bildete.

Der Leser wird aus der gegebenen Übersicht entnehmen, daſs die Erklärungen, welche Herr PANUM giebt, wenigstens so weit sie sich auf die Verschmelzung und den Wettstreit der Bilder beziehen, in der That nur der Form nach Erklärungen sind, indem die Thatsachen in einem abstracten Begriff zusammengefaſst werden, und nur in der Verwahrung gegen die Ein-

mischung psychischer Vorgänge, welche sich aber überall auf unvollständige Beobachtung der Thatsachen stützt, beziehen sie sich wenigstens negativ auf das ursächliche Verhältnifs. Übrigens werden in ihnen der Nervensubstanz Formen der Thätigkeit beigelegt, die wir wohl aus dem Gebiete der niederen Seelenthätigkeiten kennen, aber denen Ähnliches im Gebiete der Körperwelt noch niemals aufgefunden ist.

In deutlicherer und fester ausgebildeter Gestalt kehren uns die Grundzüge der Theorie von Panum in der von E. Hering aufgestellten Theorie des binocularen Sehens entgegen. Diese Theorie ist überhaupt unter den bis jetzt aufgestellten wohl die consequenteste Form, welche die nativistische Theorie erhalten hat, und verdient deshalb eine eingehendere Besprechung. Ein bedeutender Fortschritt der Hering'schen Theorie liegt darin, dafs sie von einer richtigeren Kenntnifs der scheinbaren Sehrichtung der angeschauten Objecte ausgeht, wodurch wesentliche Schwierigkeiten der früheren Theorien beseitigt werden.

Herr Hering nimmt an, dafs die einzelnen Netzhautpunkte im erregten Zustande aufser den Farbenempfindungen noch dreierlei verschiedene Arten von Raumgefühlen hervorrufen. Ein erstes entspricht dem Höhenwerth der betreffenden Netzhautstelle, das zweite dem Breitenwerth. Die Höhengefühle und Breitengefühle, welche zusammen das Richtungsgefühl für den Ort im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde ergeben, sind für correspondirende Netzhautpunkte gleich. Aufserdem existirt ein drittes Raumgefühl besonderer Art, ein Tiefengefühl, welches in je zwei identischen Netzhautpunkten gleiche, aber entgegengesetzte Werthe, dagegen auf symmetrisch gleich gelegenen gleiche und gleichsinnige Werthe haben soll. Das Tiefengefühl der äufseren Netzhauthälften ist positiv, das heifst entspricht gröfserer Tiefe, das der inneren Netzhauthälften negativ, das heifst: entspricht gröfserer Annäherung.

Durch diese Annahme ist zunächst das oben schon von mir bezeichnete nothwendige Erfordernifs einer mit den Thatsachen vereinbaren Identitätstheorie erfüllt, die Eindrücke correspondirender Netzhautstellen sind zwar theilweise gleich, nämlich betreffs ihres Richtungsgefühls, theilweise aber verschieden, nämlich durch ihr Tiefengefühl. Bis hierher würde ich die
810 Annahmen von Hering sogar für die von mir vertretene empiristische Theorie zwar nicht nothwendig, aber vortheilhaft finden, eine solche Annahme würde die Erklärung der Einübung des Augenmaafses in der Erziehung des Gesichtssinns wesentlich erleichtern. Nur wären dabei die „Raumgefühle“ als Localzeichen zu betrachten, deren räumliche Bedeutung erst durch Erfahrung zu lernen wäre. Gleiche Zeichen aber für das bezeichnete Gleiche zu haben, würde offenbar vortheilhaft sein.

Nur in einer Beziehung macht die Abweichung der scheinbar verticalen und identischen Meridiane eine Abweichung von den Hering'schen Annahmen nöthig für diejenigen Augen, die damit behaftet sind, nach den Versuchen, die ich selbst und Herr Dastich angestellt haben. Die Höhen- und Breitenwerthe nämlich würden bei uns ebenfalls für identische Stellen

gleich zu nehmen sein, aber die positiven und negativen Tiefenwerthe würden nicht durch die correspondirenden scheinbar verticalen Meridiane, sondern durch die wirklich verticalen Meridiane zu scheiden sein. Wir sehen nämlich bei symmetrischer Augenstellung, wie ich schon oben bemerkt habe, eine Linie, die auf den beiden wirklich verticalen, aber nicht identischen Meridianen abgebildet ist, senkrecht zur Visirebene, dagegen eine solche, die auf den beiden scheinbar verticalen identischen Meridanen abgebildet ist, gegen den Beobachter geneigt, mit ihrem oberen Ende entfernter als mit dem untern. So viel ich sehe, hat diese Abweichung weiter keinen Einflufs auf die ferneren Consequenzen der Theorie.

Nun stofsen wir freilich auch bei HERING wieder auf das Mysterium der Identitätslehre: Auf Deckpunkte (d. h. correspondirende Punkte) fallende gleiche oder verschiedene Lichtreize lösen stets nur eine einfache Lichtempfindung aus. Sie müssen also nothwendig vereinigt werden, wie an vielen Stellen des Buches betont wird, während andererseits doch auch disparate Bilder correspondirender Empfindungskreise vereinigt werden können. Auch bei HERING scheint mir dieser Satz mehr eine Folge einer polemischen Stimmung gegen vielleicht zu eingreifende Gegner der Identitätstheorie zu sein, als ein nothwendiges Erfordernifs der Theorie. Er könnte, so viel ich sehe, ohne Schaden für den Zusammenhang beseitigt werden, indem man dafür setzte, dafs Bilder von ähnlichen Contouren und ähnlicher Färbung desto leichter verschmelzen, je näher sie identischen Stellen kommen.

Für dieses Einfachsehen mit disparaten Netzhautstellen nimmt nun Herr HERING nicht wie Herr PANUM einen organischen Grund an, sondern einen psychischen, indem er sich darauf stützt, dafs zur Trennung zusammengesetzter Empfindungen Übung und eine gewisse Schulung der Aufmerksamkeit nothwendig sei, ein Satz, der durchaus richtig ist und eine viel gröfsere Zahl von den anscheinenden Widersprüchen in den Erscheinungen dieses Gebietes zu erklären im Stande ist, als Herr HERING daraus erklärt. Namentlich tritt für seine Theorie hier folgende Schwierigkeit ein. Wenn $a$ und $\alpha$ correspondirende Netzhautstellen sind, $b$ eine dem $a$ benachbarte in demselben Auge wie $a$, und gleiche Bilder auf $b$ und $\alpha$ entworfen werden, so verschmelzen sie nach Herrn HERING's Meinung, weil sie in Qualität gleich, im Richtungsgefühl sehr ähnlich und nur in Tiefengefühlen erheblich verschieden sind, und weil wir uns nicht die Zeit nehmen, diese Bilder getrennt zu betrachten, sondern, wenn wir auf sie aufmerksam werden, zur Fixation 811
beider forteilen — was seiner Meinung zufolge freilich durch eine Art von Reflexbewegung geschehen soll —, und sie dann einfach sehen. Nun frage ich, warum unterscheiden wir denn aber so sehr viel eher und leichter, wenn zwei gleichartige Bilder auf die Netzhautstellen $a$ und $b$ fallen. Diese sind dann nämlich nicht blos qualitativ gleich und haben in den Richtungsgefühlen denselben kleinen Unterschied, wie $b$ und $\alpha$, sondern sie haben auch einen ebenso kleinen Unterschied im Tiefengefühl, während $b$ und $\alpha$

in diesem einen sehr grofsen Unterschied darbieten. Aus Herrn Hering's Darstellung würde also folgen, dafs die Empfindungen *a* und *b* noch sehr viel leichter verschmelzen müfsten, als die von *α* und *b*, was aber der Erfahrung geradezu widerspricht. Herr Hering kann nun darauf antworten, dafs wenn wir *a* oder *b* zu fixiren suchen, nur eins fixirt werden kann, und dafs wir daher gelernt haben *a* und *b* zu unterscheiden, nicht aber *α* und *b*. Damit würde er aber ganz auf dem Standpunkte der empiristischen Theorie angekommeu sein, wonach wir die Empfindungen der Localzeichen zu unterscheiden und zu deuten lernen müssen.

Und gerade diese Gelegenheit, wo Herr Hering selbst gezwungen ist, in der psychischen Theorie Lösung der Schwierigkeiten zu suchen, die seine Ansicht hervorruft, benutzt er, um gegen Volkmann's und Anderer psychologische Erklärungen zu polemisiren. Volkmann's Fehler, wenn man es so nennen will, ist dabei aber im Wesentlichen nur der, dafs er die psychischen Processe, auf die es hier ankommt, mit denjenigen Benennungen belegt hat, die wir ihnen geben, wenn sie in das Selbstbewufstsein erhoben werden. Zum Theil haben wir gar keine anderen bezeichnenden Benennungen als diese, weil wir Vorgänge nur benennen können, sofern wir von ihnen wissen. Wenn also diejenigen Vorgänge dieser Art, von denen wir nur aus ihren Resultaten wissen, als unbewufste Seelenvorgänge bezeichnet werden, so hat dies seinen guten Sinn und ist eben die einzige Bezeichnung, die wir dafür haben, wenn wir nicht bei jeder Gelegenheit weitläuftige Umschreibungen machen wollen.

Bei der binocularen Verschmelzung zweier Eindrücke erhält nun nach Hering die Gesammtempfindung den mittleren Werth des Richtungsgefühls sowohl als des Tiefengefühls. Da die Tiefengefühle identischer Stellen gleich grofs sind, aber von entgegengesetztem Zeichen, so wird der Mittelwerth des Tiefengefühls .bei Verschmelzung identischer Eindrücke gleich Null. Bei gleichseitigen Doppelbildern fällt, wie leicht zu sehen ist, der Mittelwerth des Tiefengefühls positiv aus, das Object erscheint entfernter, bei ungleichseitigen Doppelbildern ist der Mittelwerth negativ, das Object erscheint näher, als die identisch abgebildeten Objecte.

Wenn jeder Netzhauteindruck sich nothwendig mit dem der correspondirenden Stelle der andern Netzhaut stets in gleicher Stärke vereinigen müfste, so würde der mittlere Tiefenwerth dieser Vereinigung immer gleich Null sein. Nur dadurch, dafs im Wettstreite der Eindruck desjenigen Sehfeldes, welches die Contour trägt, die Empfindung des andern unterdrückt, wird der Tiefenwerth der Contour frei und kann mit seinem eigenthümlichen
812 Werthe in die Vereinigung mit der ensprechenden Contour im andern Sehfelde eintreten. Auch dieser Erklärung widersprechen die oben gegebenen Modificationen des Wheatstone'schen Versuches, bei denen unähnliche Contouren, die sich nicht vereinigen, auf Deckstellen liegen und selbst beim Lichte des elektrischen Funkens sich jede von beiden im stereoskopischen Bilde mit ihrem Tiefenwerthe geltend macht, zum Zeichen, dafs keine von ihnen im Wettstreite untergeht.

Auf diese Annahme baut nun Herr Hering seine Raumconstruction. Er nimmt an, alle Bildpunkte, die den Tiefenwerth Null haben, erscheinen durch einen unmittelbaren Act der Empfindung in einer Ebene, der Kernfläche des Sehraums. Denken wir uns in dieser den Punkt, welcher den beiden Netzhautcentren entspricht, als Anfangspunkt eines rechtwinkeligen Coordinatensystems, die den Tiefenwerthen entsprechenden Coordinaten senkrecht zur Kernfläche, so würden die drei Coordinaten jedes gesehenen Punktes proportional sein den Höhenwerthen, Breitenwerthen, Tiefenwerthen des zu dem binocularen Eindrucke gehörigen Raumgefühls, und es wäre nach Hering in dieser Weise eine Vertheilung der gesehenen Punkte im Sehraum gegeben, die wenigstens in der Anordnungsweise der Punkte der wirklichen Anordnung derselben entspräche, wenn auch die Verhältnisse der einzelnen linearen Distanzen nun noch vielfach nach der Erfahrung zu corrigiren wären. Da auch die Körpertheile des Beobachters mit in diesem so ausgefüllten Sehraume erscheinen, so wird dadurch auch die räumliche Beziehung der gesehenen Objecte zum Beobachter zugleich mit zur Anschauung gebracht.

Das sind die wesentlichen Grundzüge der Theorie von Hering. Die älteren nativistischen Theorien des Sehens hatten nur die Vertheilung der gesehenen Punkte im Gesichtsfelde für angeboren, die Wahrnehmung der Tiefendimensionen dagegen für einen Act des Urtheils gehalten. Panum hatte zuerst die Hypothese aufgestellt, aber nicht in bestimmterer Form ausgeführt, dafs die binoculare Parallaxe eine unmittelbare Empfindung der Tiefenverhältnisse geben könnte. Dies hat Herr Hering in der beschriebenen Weise bestimmter auszuführen gesucht und dadurch der nativistischen Theorie ein noch weiteres Feld eingeräumt, als ihr bisher gegeben war. Das von ihm aufgestellte System verräth einen klar und consequent denkenden Kopf, es berücksichtigt die bisher bekannt gewesenen Thatsachen vollständig und auch einige wichtige neue, die Herr Hering selbst hinzugefügt hat, und kann deshalb, wie ich glaube, als ein gutes Specimen dieser Klasse von Theorien angesehen werden, weshalb ich mir erlaube, meine Kritik speciell gegen die Theorie von Herrn Hering zu richten.

Der erste Einwand, den ich zu machen hätte und der mir für mein Denken allerdings als ganz unübersteiglich erscheint, ist der, dafs ich mir nicht vorstellen kann, wie eine einzelne Nervenerregung ohne vorausgegangene Erfahrung eine fertige Raumvorstellung zu Stande bringen kann. Ich erkenne aber an, dafs dieser Einwand vielleicht von zu metaphysischer Natur ist, um auf naturwissenschaftlichem Boden gehört zu werden, und merke ihn deshalb hier nur an für diejenigen Leser, die ihn mit mir theilen. Ich wende mich deshalb sogleich zu den Gegengründen, die dem Bereiche der erfahrungsmäfsigen Thatsachen entnommen sind.

Dafs die Annahmen der Panum-Hering'schen Theorie von der Ver- 813
schmelzung der beiden Gesichtsfelder den Thatsachen widersprechen, habe ich schon oben erwähnt. Der Annahme, dafs die beiderseitigen Eindrücke in eine Empfindung verschmelzen müssen, wobei nur abwechselnd in lang-

samer Schwankung bald der eine, bald der andere vorherrschen könne, wird widerlegt durch die Möglichkeit, stereoskopischen Glanz wahrzunehmen bei momentaner Beleuchtung. Die Annahme, dafs in den Fällen, wo disparate Contouren verschmelzen, die identisch zu ihnen gehörigen Bilder der anderen Netzhaut unterdrückt seien, wird widerlegt durch das Gelingen des Wheatstone'schen Versuchs, wenn er richtig ausgeführt wird, und namentlich durch ein Gelingen bei momentaner Beleuchtung, wobei die Augenbewegungen keinen Einflufs haben können.

Eine weitere Fundamentalhypothese der Hering'schen Theorie ist es, dafs die Punkte, welche auf identischen Netzhautstellen sich abbilden (oder allgemeiner, die den Tiefenwerth Null haben), immer in einer Ebene zu liegen scheinen sollen, dafs das Vortreten oder Zurücktreten der binocular gesehenen Objectpunkte vor oder hinter diese Ebene (Kernfläche des Sehraums) nur davon abhängen solle, ob sie positive oder negative stereoskopische Parallaxe haben. Ich habe oben auf Seite 803 ff. eine Reihe von Versuchen beschrieben, aus denen hervorgeht, dafs auch wenn alle anderweitigen Anhaltspunkte der Tiefenanschauung fehlen, einfache Liniensysteme, welche genau dieselbe binoculare Parallaxe darbieten, stereoskopisch combinirt, bald als gewölbte, bald als ebene Fläche erscheinen können, je nachdem durch die Querlinien mehr Ähnlichkeit mit den binocularen Bildern eines nahen und mit convergenten Blicklinien gesehenen Objects oder denen eines mit parallelen Gesichtslinien gesehenen fernen Objects entsteht.

Ich habe ferner gezeigt, dafs wenn ein System von verticalen Fäden, die in der Cylinderfläche des Längshoropters liegen, Herrn Hering in einer Ebene zu liegen scheint, was, wie er andeutet, selbst für seine Augen nicht streng richtig ist, dies eine individuelle Eigenthümlichkeit seiner Augen ist, die bei keinem der von mir untersuchten Individuen, auch bei mir selbst nicht vorkam, und dafs bei den meisten Beobachtern der Irrthum in der Beurtheilung der Convergenz der Augen, der dieser Erscheinung zu Grunde zu liegen scheint, viel kleiner ist, als dafs der von Herrn Hering behauptete Erfolg zu Stande kommen könnte.

Eine Hauptschwierigkeit oder, wie mir scheint, Unmöglichkeit der Hering'schen Theorie sind die Tiefengefühle. So lange Eindrücke der einen Netzhaut mit correspondirenden oder disparaten der andern Netzhaut sich vereinigen, wo es sich nur um die Differenz der Tiefengefühle beider Stellen handelt, tritt, so viel ich sehe, keine wesentliche Schwierigkeit ein, aufser den eben angeführten. Wenn aber das Bild einer Netzhaut, ohne zu verschmelzen, für sich stehen bleibt und im Wettstreite mit dem der andern Netzhaut dominirt, so nimmt Herr Hering an, und mufs auch nothwendig annehmen, dafs das Tiefengefühl des im Wettstreite siegenden Eindrucks ebenfalls unverschmolzen mit dem der correspondirenden Deckstelle der andern Netzhaut zur Herrschaft kommt.

Herr Hering[1] glaubt auch einige Versuche anführen zu können, in

[1] Hering, *Beiträge zur Physiologie*. 5. Heft. S. 338–342.

denen solche monoculare Bilder mit dem ihnen allein zugehörigen Tiefen- 814
eindruck zur Erscheinung kämen.

a. Wenn man einen Punkt in der Medianebene fixirt und ein zweiter liegt vor oder hinter dem Fixationspunkte, so erscheint dieser in Doppelbildern, die ebenfalls vor oder hinter dem Fixationspunkte nahe dem wahren Orte ihres Objects erscheinen. Diese Beobachtung widerspricht der HERING-schen Theorie nicht, beweist aber auch nichts für sie, da wir eben hinreichende Übung haben, den Ort eines in nicht zu entfernten, aber erkennbaren Doppelbildern gesehenen Objects nahehin richtig zu beurtheilen. Dafs hier die Erfahrung und nicht die Tiefengefühle entscheiden, geht aus den weiteren Versuchen hervor, wo beide in Widerspruch kommen und wo die Erfahrung, wie mir scheint, immer oder wenigstens, wie Herr HERING zugiebt, in der Regel siegt.

b. Zwei Kügelchen werden neben einander an Fäden aufgehängt, die Sehlinien hinter ihnen gekreuzt, so dafs drei Kugeln erscheinen, eine mittlere binocular gesehene, zwei seitliche monocular, die rechte vom linken, die linke vom rechten Auge gesehen. Nach HERING sollen die seitlichen Kügelchen näher als das mittlere erscheinen. Ich habe den Versuch wiederholt und finde seinen Erfolg abhängig von der Kopfhaltung. Ist mein Kopf bei der Fixation der Kügelchen hinten übergebeugt, die Visirebene also unter ihre Primärlage geneigt, so erscheint mir der binocular gesehene mittlere Faden mit dem unteren Ende, welches das Kügelchen trägt, genähert, wie oben S. 808 und 809 schon erörtert ist, und dann auch das mittlere Kügelchen näher als die seitlichen. Ist der Kopf vorn übergebeugt, so tritt der entgegengesetzte Anschein ein, der dann freilich dem von HERING's Theorie geforderten dem Sinne nach entspricht, aber offenbar einen ganz anderen Grund hat. Biegt man den Kopf bald nach vorn, bald nach hinten, so wechselt auch das Kügelchen seine Stellung.

c. Wenn man einen Stecknadelknopf fixiert, und daneben ist ein senkrechter Draht angebracht etwas nach links und etwas näher als die Stecknadel, so erscheint dieser in Doppelbildern, deren rechtes dem linken Auge angehört und einen negativen Tiefenwerth haben sollte, das linke gehört dem rechten Auge an und sollte einen positiven Tiefenwerth haben. Das rechte müfste also viel näher, das linke viel ferner als die Stecknadel erscheinen. Herr HERING giebt zu, dafs eine solche Tiefenanschauung nur aufserordentlich schwer und flüchtig gesehen werde, weil, wie er meint, die kleinste Schwankung der Convergenz das Urtheil über den Ort des Objectes berichtige. Um ihm aber nicht Unrecht zu thun, will ich lieber den Erfolg dieses Versuches mit seinen eigenen Worten beschreiben: „Ich sehe zunächst und überhaupt immer dann, wenn meine Augen sich irgendwie, wenn auch nur sehr wenig bewegen, die beiden Trugbilder des näheren Drahtes zwar gesondert, aber beide näher als die fixirte einfach erscheinende Stecknadel. Fixire ich aber anhaltend und fest und concentrire meine ganze Aufmerksamkeit möglichst auf die fixirte Stecknadel, so tritt das eine, dem linken Auge

angehörige Trugbild plötzlich hinter die Stecknadel und erscheint mit solcher Energie jenseits derselben, dafs ich diesen Eindruck durchaus dem zwingenden Eindrucke vergleichen mufs, mit welchem Stereoskopenbilder sich
815 plötzlich in die Tiefe ausbreiten. Die Erscheinung tritt gerade dann am sichersten ein, wenn ich am wenigsten daran denke. Die geringste Schwankung des Blickes aber, oder nur der Gedanke an das zweite näher erscheinende Trugbild versetzt das andere sogleich wieder vor die Kernfläche; denn es tritt dann die Beziehung beider Bilder auf ein und dasselbe Object ein und stört den rein sinnlichen Eindruck. Aber auch ganz von selbst schwindet die Erscheinung, sobald das Trugbild infolge der Ruhe des Auges in eine ungünstige Phase des Wettstreits eintritt, wie dies oben erörtert wurde. Daher denn mancherlei sich vereinigt, um den Versuch zu stören. Überhaupt kann ich ihn nur denjenigen empfehlen, die grofse Übung im indirecten Sehen haben und wirklich fest fixiren können, nicht blos es zu können glauben. Man lernt das feinste Doppelsehen nicht in einem Jahre, auch nicht in zweien."

Einige Seiten vorher bemerkt Herr Hering hierher gehörig noch, indem er die Störungen der Empfindung bei diesen Versuchen beschreibt: „Hierzu kommt nun noch, dafs bei irgend ausgedehnten Trugbildern der Wettstreit nicht immer in allen Theilen des Trugbildes gleiche Phasen zeigt, dafs vielmehr das Trugbild stückweise Sieger und Besiegter im Wettstreite ist, wodurch eine sichere und feste Localisation ganz unmöglich wird. Drängen sich auf diese Weise Stücke des auf der betreffenden Deckstelle der andern Netzhaut liegenden Bildes mit ihren entgegengesetzten Tiefenwerthen in das Trugbild derart hinein, dafs sie gleichsam Bestandtheile desselben werden, so kann die Localisation sogar entgegengesetzt der *a priori* zu erwartenden ausfallen."

Diesem letzteren Theile der Beschreibung entspricht nun vollkommen das, was ich selbst bei einer möglichst sorgfältigen und gewissenhaften Anstellung des Versuchs gesehen habe. Ich habe so fest und so lange die Stecknadel fixirt, dafs mir schliefslich die negativen Nachbilder alles auslöschten. Ich habe gesehen, dafs zu der Zeit, wo nur noch einzelne Theile der Doppelbilder des Drahtes im Wettstreit mit dem correspondirenden Grunde und mit den Nachbildern zeitweilig nebelhaft auftauchen, sie bald fern, bald nah erscheinen, das eine ebenso oft und ebenso energisch, wie das andere; aber ich habe mich nicht überzeugen können, dafs dies überwiegend in dem Sinne der Hering'schen Theorie geschieht, und würde es nie unternommen haben, aus einer an solchen halb erlöschenden Bildern gemachten Beobachtung das Fundament für eine neue Theorie des Sehens zu machen. Indessen gebe ich zu, dafs ich ungeschickt gewesen sein mag; nur wird Herr Hering entschuldigen müssen, wenn ich durch diesen ihm selber so „zwingenden Beweis für die Richtigkeit der Theorie" mich nicht für überzeugt erklären kann.

d. Panum's Versuche über die stereoskopische Vereinigung zweier senk-

chter Linien im einen Felde mit einer im andern finden leicht ihre :klärung, wie oben Seite 882 schon bemerkt ist. Ein solches Bild ist der :htige optische Ausdruck eines Linienpaares im Raume, von denen eine r das eine Auge die andere deckt.

e. Wenn man nur ein Auge öffnet und mit dem anderen allein irgend ıe zur Antlitzfläche senkrechte Ebene betrachtet, so müfste die schläfenırts gekehrte Seite derselben positive Tiefenwerthe haben, die nasenwärts kehrte negative, die Ebene sollte deshalb stark gegen die Gesichtslinie 816
neigt erscheinen. Dafs sie es nicht thut, erklärt Herr HERING dadurch, fs wir der Erfahrung zulieb, die uns lehrt, wie die gesehene Ebene gegen seren Körper liegt, die Kernfläche des Sehraums in unserer Anschauung ıe Achtelswendung machen lassen, wodurch die richtige Lage der gesehenen äche wieder hergestellt werde.

Wir können den Versuch aber so modificiren, dafs diese Ausflucht geschnitten ist. Man nehme vor die Mitte des Gesichts einen schwarzen pierstreifen, dessen Breite der Distanz der Augen von einander gleichmmt. Dann sieht das rechte Auge nur die rechte Hälfte der vorliegenden ojecte, das linke nur die linke Hälfte. Das ganze Gesichtsfeld bis auf ıen kleinen im Zerstreuungskreise der beiden Ränder des Papierstreifens genden mittleren Streifen wird monocular gesehen. Ein nennenswerther ettstreit zwischen dem Schwarz des Papiers und den hellen Bildern des mmers tritt bei hin und wieder wechselnder Richtung des Blicks nicht ı; keinerlei Augenbewegungen sind im Stande, das Urtheil über die wahre ıtfernung der gesehenen Objecte zu unterstützen. Eine Achtelswendung der ernfläche würde in diesem Falle die Schwierigkeit ebenfalls nicht heben. le Bedingungen also bei diesem Versuche scheinen mir dazu angethan, die n Herrn HERING supponirten Tiefengefühle rein zur Erscheinung kommen lassen, und man sollte erwarten, nun die beiden Theile der Wand an der elle, wo die Grenze der beiden Sehfelder liegt, sich unter einem ziemlich einen spitzen Winkel (der HERING'schen Theorie zufolge müfste dieser inkel dem Convergenzwinkel der Augen gleich sein) zusammenstofsen zu hen, wie eine Messerschneide, die gegen den Beobachter gekehrt ist. ıvon ist aber keine Spur zu sehen, die Wand erscheint ganz flach, gerade wie sie mit beiden Augen gesehen erscheint.

Die andern Täuschungen aber, die von der Abweichung der scheinbar rticalen Meridiane, der etwa vorhandenen Raddrehungsdifferenz beider ıgen und so weiter abhängen, sind bei diesem Versuche alle deutlich zu ıen. Soll nun die Erfahrung, dafs die Wand eben ist, die eine täuschende npfindung beseitigen? Warum beseitigt dann die andere Erfahrung, dafs horizontalen Linien der Wand alle gerade, ihre verticalen alle rallel sind, welche ich noch bis zu dem Augenblick, wo ich den Papierıirm vorschiebe, machen und fortsetzen kann, nicht auch die von der Radehung und der Abweichung der Meridiane abhängigen Täuschungen?

Auch selbst in Fällen, wo die Contouren der gesehenen Bilder vollkommen

denen eines objectiven Gegenstandes entsprechen, und also die Tiefengefühle mit den mittels der Augenbewegungen zu machenden Beobachtungen sich in vollkommener Übereinstimmung befinden, wie bei den pseudoskopischen Versuchen, kommen Tiefenwahrnehmungen nicht zu Stande, wenn die Schlagschatten widersprechen; und der Zusammenhang der Körperform mit dem Schlagschatten ist doch gewifs ein Erfahrungsmoment. Und selbst, wenn die Schlagschatten nicht widersprechen, sondern nur die Erinnerung an die vorher gesehene wahre Form des pseudoskopisch betrachteten Körpers, sind viele Leute, die auf die binoculare Parallaxe vielleicht wenig zu
817 achten gewöhnt sind, gar nicht, manche erst nach längerer Betrachtung bei wechselnder Blickrichtung im Stande, den pseudoskopischen Eindruck zu erhalten.

Aus allen diesen Thatsachen folgt, dafs die Hering'schen Tiefengefühle nur wirken, wenn auch die durch die Erfahrung gegebenen Momente eine Tiefenwahrnehmung fordern, dafs sie spurlos verschwinden, sobald die erfahrungsmäfsige Auslegung der Gesichtserscheinungen, oder auch nur die Erinnerung an die Form des individuellen Objects widerspricht. Mufs man daraus nicht schliefsen, dafs jene Tiefengefühle, wenn sie überhaupt existiren, mindestens so schwach und undeutlich sind, dafs sie gar keinen nennenswerthen Einflufs den aus der Erfahrung genommenen Momenten gegenüber ausüben können, und dafs daher die Tiefenanschauung ohne sie ganz eben so gut zu Stande kommen mufs als mit ihnen, beziehlich wider sie, wie es nach Hering's Annahmen geschehen soll?

Schliefslich führt uns dies auf eine letzte wesentliche Schwierigkeit, der noch keine nativistische Theorie der Raumanschauung entgangen ist, wenn sie sich nicht ganz auf allgemeine Andeutungen beschränkte. Es mufs nämlich in diesen Theorien immer vorausgesetzt werden, dafs wirklich vorhandene Empfindungen durch eine Erfahrung, die sie als unbegründet nachweist, aufgehoben werden können. Dafür ist aber nicht ein einziges wohl constatirtes Beispiel da. Bei allen Sinnestäuschungen, welche durch anomal erregte Empfindungen hervorgerufen werden, wird die täuschende Empfindung nie beseitigt durch die widersprechende bessere Erkenntnifs des Objects und durch die Einsicht in die Ursache der Täuschung. Die Druckbilder, die feurigen Garben am Sehnerveneintritt, die Nachbilder u. s. w. bleiben an ihrem scheinbaren Orte im Gesichtsfelde bestehen, ebenso gut wie das von einem Spiegel entworfene Bild scheinbar hinter dem Spiegel fortfährt gesehen zu werden, obgleich wir von allen diesen Erscheinungen sehr wohl wissen, dafs ihnen keine reelle Existenz zukommt. Es kann allerdings die Aufmerksamkeit abgelenkt sein und bleiben von Empfindungen, die zu den Objecten der Aufsenwelt in gar keiner Beziehung stehen, wie zum Beispiel von den Empfindungen der schwächeren Nachbilder, der entoptischen Objecte und andern. Es können ferner mäfsig grofse Irrthümer in der Schätzung ihrer Intensität durch Contrast eintreten, oder wenn sie

als gemeinschaftliche Wirkung zweier Objecte angeschaut werden, können sie falsch an die beiden Objecte vertheilt werden, wie das bei den Contrasterscheinungen vorkommt. Einer der Haupteinwürfe gegen die früheren Formen der empiristischen Theorie ist es ja immer gewesen, so lange man bewufste Schlüsse und Inductionsschlüsse noch nicht genügend unterschied, dafs die Sinnestäuschungen durch die Einsicht in ihren Mechanismus und durch die entgegenstehende Erfahrung nicht aufgehoben werden. Was sollte aus unseren Sinneswahrnehmungen werden, wenn wir die Fähigkeit hätten, einen Theil derselben, der uns gerade nicht in den Zusammenhang unserer Erfahrungen pafste, nicht nur nicht zu beachten, sondern in sein Gegentheil zu verkehren?

Denken wir zum Beispiel an den Fall zweier seitlich von der Medianebene liegenden Doppelbilder ein und desselben Objects. Das eine löst nach HERING's Theorie eine positive Tiefenempfindung aus, das andere eine negative, und zwar nicht etwa eine von geringer Gröfse, sondern wie es 818
seine Theorie der stereoskopischen Phänomene voraussetzt, von sehr beträchtlicher und sehr deutlich erkennbarer Gröfse. Aber weil wir wissen, dafs die Doppelbilder zu einander gehören und Bilder eines Objects in einer uns mehr oder weniger gut bekannten Entfernung sind, sollen wir den Unterschied ihrer Tiefenempfindungen gewöhnlich nicht erkennen, selbst wenn wir darauf achten, ob das eine oder das andere etwa uns näher oder ferner erscheine. Nun erzeuge man einmal einen schwachen Farbenunterschied beider Bilder, indem man ein Auge vorher gegen eine Farbe ermüdet oder es von der Seite her beleuchtet, so haben wir einen wirklichen Unterschied der Empfindung beider Doppelbilder. Aber dieser Unterschied tritt hervor, auch wenn er zu den allerschwächsten gehört, und ohne Hilfe des binocularen Contrastes vielleicht gar nicht wahrnehmbar ist, trotzdem wir wohl wissen, dafs die beiden Bilder Bilder desselben Objectes sind und also gleiche Farbe haben müssen, und trotzdem die Färbung keine objective, sondern eine subjective ist, und wir dies ebenfalls wissen.

Dann betrachte man das ganze System der Localisation, wie sie nach HERING durch unmittelbare Raumempfindung ursprünglich gegeben ist. Nach allen kleineren Verbesserungen, die man etwa noch daran anbringen könnte, um es der Wirklichkeit genauer anzupassen, würde es immer nur so viel leisten können, dafs es eine richtige Localisation der Objecte für eine einzige Stellung der Blicklinien gäbe. In allen unendlich vielen anderen Fällen würde es mehr oder weniger falsch und durch Erfahrung zu verbessern sein. Die hypothetischen Annahmen von HERING machen also — vielleicht — die Erklärung der Gesichtswahrnehmungen in einem einzelnen Falle leichter, um sie in allen andern desto schwieriger zu machen; und jedenfalls mufs man schliefsen: Wenn die der Erfahrung entnommenen Momente im Stande sind, die richtige Erkenntnifs der räumlichen Verhältnisse selbst entgegenstehenden directen Raumempfindungen gegenüber herzustellen, so müssen sie noch viel eher und leichter im Stande sein, die-

selben richtig erkennen zu machen, wenn keine solche Hindernisse zu überwältigen sind.[1]

Sobald wir dagegen alle Anschauung der Raumverhältnisse auf Erfahrung zurückführen, wie dies in der empiristischen Theorie geschieht, so kämpft in den Sinnestäuschungen niemals Empfindung gegen Erfahrung, sondern nur die eine Induction, welche unter gewissen beschränkten Bedingungen gewonnen ist, gegen die andere, die unter andern Bedingungen gewonnen ist. Wir haben es dann mit einem Kampfe gleichartiger Mächte zu thun und verstehen, dafs bald die eine Seite, bald die andere je nach den veränderten Umständen, oder auch beide wechselnd unter gleich bleibenden Umständen unterliegen können.

819 Ich erkenne aber durchaus an, dafs die hier discutirten Fragen noch nicht vollkommen spruchreif sind. Ich habe meinen eigenen Standpunkt theils wegen der Einfachheit der Erklärungen, die sich aus ihm ergeben, so gewählt, theils aber auch besonders aus methodologischen Rücksichten, indem ich es nämlich stets für rathsam halte, die Erklärungen der Naturprocesse auf die möglichst geringste Zahl und auf möglichst bestimmt gefafste Hypothesen zu bauen. Andererseits aber mufs ich doch auch sagen, dafs, je mehr ich im Fortgang dieser Untersuchungen, die mich einen guten Theil meines Lebens hindurch beschäftigt haben, lernte, meine Augenbewegungen und meine Aufmerksamkeit mit freiem Willen zu beherrschen, es mir desto unzulässiger erschien, die wesentlichen Phänomene dieses Gebiets aus einem vorher schon gegebenen Nervenmechanismus erklären zu wollen.

Was die Unterschiede meiner hier gegebenen Darstellung, deren Wesentliches ich schon in einer populären Vorlesung im Jahre 1855 veröffentlicht habe, von andern neueren Arbeiten betrifft, die auf der Grundlage einer empiristischen Theorie des Sehens fufsen, so habe ich für die Abmessung der räumlichen Verhältnisse des Sehfeldes sowohl, als der Entfernung der gesehenen Objecte weniger Nachdruck auf die Muskelgefühle gelegt, als Wundt, weil ich dieselben aus den oben angeführten Gründen glaube für ziemlich ungenau und veränderlich halten zu müssen. Ich habe vielmehr die hauptsächlichsten Abmessungen des Sehfeldes aus der Deckung verschiedener Bilder mit denselben Netzhauttheilen hergeleitet. Wundt hat namentlich die hierher gehörigen psychischen Phänomene einer ausführlichen und sehr dankenswerthen Bearbeitung unterworfen. Einzelne Beobachtungen, in denen ich von ihm abweiche, sind oben notirt.

A. Nagel erklärt die Entstehung der binocularen Doppelbilder aus der Annahme, dafs beide Augen ihre Netzhautbilder auf zwei verschiedene Kugelflächen nach aufsen projicirten. Der Mittelpunkt dieser Kugelflächen wird im Kreuzungspunkt der Visirlinien des entsprechenden Auges angenommen, und beide Kugelflächen sollen sich im Fixationspunkte schneiden. Dabei mufs also eigentlich jeder Punkt, der nicht in der

[1] Ich wünsche, dafs man diese Kritik, die ich im Interesse der Sache gegen Herrn E. Hering's Ansichten zu richten gezwungen bin, nicht als einen Ausdruck persönlicher Gereiztheit wegen der Angriffe ansehen möge, die er gegen meine Arbeiten gerichtet hat. Ich glaube, dafs der Standpunkt einer nativistischen Theorie des Sehens, auf den sich Herr Hering gestellt hat, einen consequent denkenden Kopf ziemlich nothwendig zu der Art von Hypothesen führen mufste, welche seiner Theorie zu Grunde liegen; und ich habe die Angriffe speciell gegen seine Ansichten gerichtet, weil sie mir die klarste und consequenteste Durchführung der nativistischen Theorie zu enthalten schienen, die zur Zeit noch möglich ist. Die Einwürfe, welche Herr Hering gegen meine Arbeiten gemacht hat, habe ich im Laufe dieser letzten Abtheilung zu beantworten gesucht, so weit sie sachliches Interesse haben. Die, welche nur persönliches Interesse haben, habe ich vorgezogen unerwähnt zu lassen, aufser, wo ich anerkennen mufste, dafs Herr Hering Recht gehabt hat.

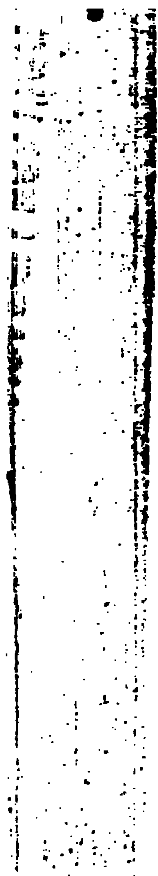
hnittlinie beider Kugeln liegt, in Doppelbildern erscheinen. Diese Projectionen nkt sich NAGEL nun von dem Halbirungspunkt der Verbindungslinie beider Augenttelpunkte aus angesehen, und je nachdem sich dabei die Doppelbilder decken, oder kreuzt oder gleichseitig neben einander liegend erscheinen, sollen sie es auch im sichtsfelde thun.

NAGEL's Theorie kommt zwar der Wahrheit schon ziemlich nahe; aber einmal ist etwas künstlich, da sie eine doppelte Projection voraussetzt, zweitens fehlt in Wirklich-.t die Anschauung einer verschiedenen Entfernung der beiden Doppelbilder, welche GEL's Theorie in den meisten Fällen fordert; endlich würde ihr zufolge die Lage der fach gesehenen Bilder nicht immer genau mit der Wirklichkeit stimmen. Übrigens ist s wohl der einzige wesentliche Punkt, in welchem meine oben gegebene Theorie von r NAGEL's abweicht.

Die richtige Theorie der Doppelbilder und ihrer Lage wurde dagegen von A. CLASSEN geben, wenn auch dabei mit Unrecht die factische Richtigkeit der von HERING gegebenen Phänomene, welche sich auf das scheinbare Centrum der Richtungslinien tten zwischen beiden Augen beziehen, geleugnet ist. Ich selbst bin zwar, ebenso nig wie Herr CLASSEN, geneigt, diese Erscheinung zur Grundlage aller unserer Localiionen zu machen, und halte sie nur für eine nebenher gehende Sinnestäuschung, die mir selbst auch für das rechte und linke Auge in verschiedenem Grade stattfindet d durch geschärftere Aufmerksamkeit überwunden werden kann; aber es ist eine uschung, die wirklich besteht.

Eine wesentlichere Abweichung zwischen der von mir gegebenen Darstellung der eorie und CLASSEN's ist, dafs er den Ortssinn der Netzhaut und die Projection in das ıfeld als ursprünglich gegeben und nicht erworben betrachtet. Wenn aber die Lage · einzelnen Netzhautpunkte zu einander durch eine angeborene Empfindung gegeben 820 dann ist auch die Identität correspondirender Punkte angeboren, da deren gleiche ge gegen den Blickpunkt dann ebenfalls ursprünglich in der Empfindung gegeben sein .fs. Es hat diese Abweichung indessen auf die Darstellung derjenigen Capitel des ıens, die CLASSEN ausführlich behandelt, namentlich die Lehre vom Muskelsinn und n Binocularsehen, keinen Einflufs, und es finden sich bei ihm eine grofse Menge eressanter Erläuterungen aus der pathologischen Beobachtung für die vorgetragenen ysiologischen Lehren.

Die der empiristischen Theorie sich anschliefsenden Ansichten von H. MEYER, NDERS, VOLKMANN, A. FICK, einzelne Theile der Theorie betreffend, sind jede an ihrer ılle erwähnt worden.



# Sach- und Namenregister.

# Sach-Register.

(Die Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.)

---

## A.

## B.

## C.

## D.



## E.

## F.

## G.



## H.

## I.



## K.



## L.

# M.

## N.



## O.



## P.

## Q.



## R.

# S.

## T.



## U.

## V.



## W.



## Z.



---

# Namen-Register.

(Die Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.)

---

## A.



## B.

## C.



## D.

## E.

# F.

# G.



# H.

## J.



## K.

## L.

## M.

## N.



## O.



## P.

## Q.



## R.

# S.

## T.

## U.



## V.



## W.

## Y.

## Z.

# Berichtigungen.

Von Arthur König.

28, Z. 15 v. o. mufs $b$ statt $\gamma$ stehen.
76, „ 2 „ „ „ $tg\,\alpha_1$ statt $tg\,\alpha_2$ stehen.
78 mufs in Gleichung 11b) im Zähler auf der rechten Seite $(d-f_2)$ statt $(d-f_1)$ stehen.
213 mufs die letzte Gleichung lauten:

$$J = \frac{n_2^2}{n_1^2} \cdot H \cdot \frac{Q}{R^2}$$

220, Z. 9 v. u. mufs Convexspiegel statt Concavspiegel stehen.
258, „ 1 „ „ „ *Pfeuffer* statt *Pflüger* stehen.
260, „ 21 „ o. „ stehen $2 . s^2 \sqrt{s}$ statt $2 . 5^2 \sqrt{s}$.
318, „ 1 „ u. „ *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane.* Bd. IV. S. 241 1893 statt *Wied. Ann.* 33. 1887 stehen.
410, Z. 7 v. u. mufs statt $\varphi . (\alpha - J)^2$ stehen $\varphi . (\alpha - J)^2 . \alpha$.
„ „ 3 „ „ ist in dem unter dem Integralzeichen im Zähler stehenden Ausdrucke der Factor $(\alpha - J)^2$ zu streichen. Bei der Herausgabe seiner gesammelten wissenschaftlichen Abhandlungen (Bd. III. S. 396) hat H. v. Helmholtz die hier durchgeführte Rechnung beträchtlich umgestaltet, ohne jedoch zu einem wesentlich verschiedenen Resultate zu kommen.
461, Z. 11 v. u. bis S. 462, Z. 4 v. o. mufs nach einer Berichtigung, welche H. v. Helmholtz (*Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane.* Bd. III. S. 517) im Jahre 1892 veröffentlicht hat, ersetzt werden durch Folgendes:
„während die dritte den beiden Klassen der Dichromaten und den normalen Trichromaten gemeinsame Grundempfindung $\mathfrak{V} = V$ ist.

Um nun zu ermitteln, ob diese Grundfarben $\mathfrak{R}$ und $\mathfrak{G}$ aufserhalb oder innerhalb des nach den Unterschiedsempfindlichkeiten berechneten neuen Farbendreiecks liegen, mufs man die Werthe der $x, y, z$ als Functionen der $\mathfrak{R}, \mathfrak{G}, \mathfrak{V}$ ausdrücken. Wenn man zwei von diesen letzteren Gröfsen gleich Null setzt und die dritte übrig bleibende dann negative Werthe einer der $x, y, z$ ergiebt, so liegt die betreffende Farbe aufserhalb des Dreiecks $[x, y, z]$.

Aus den eben angeführten Werthen für $\mathfrak{R}, \mathfrak{G}, \mathfrak{V}$ folgt

$$\begin{aligned} R &= 0.9157 . \mathfrak{R} + 0.1807 . \mathfrak{G} - 0.0963 . \mathfrak{V} \\ G &= -0.2289 . \mathfrak{R} + 1.2048 . \mathfrak{G} + 0.0241 . \mathfrak{V} \\ V &= \mathfrak{V} \end{aligned}$$

Setzt man diese Werthe in die obigen Gleichungen 9a ein, so ergiebt sich

$$\begin{aligned} x &= 0.810 . \mathfrak{R} - 0.280 . \mathfrak{G} + 0.470 . \mathfrak{V} \\ y &= 0.159 . \mathfrak{R} + 0.466 . \mathfrak{G} + 0.376 . \mathfrak{V} \\ z &= 0.200 . \mathfrak{R} + 0.196 . \mathfrak{G} + 0.604 . \mathfrak{V} \end{aligned}$$

Daraus geht hervor, dafs, wenn $\mathfrak{R} = \mathfrak{V} = 0$ und nur die Farbe $\mathfrak{G}$ übrig bleibt, diese in der That einen negativen Werth des $x$ hat, und aufserhalb des Farben-

dreiecks $[x, y, z]$, jenseits seiner grün-blauen Seite liegt, während die beiden anderen Grundfarben $\mathfrak{R}$ und $\mathfrak{B}$ im Inneren des Dreiecks liegen. Das Roth indessen liegt der Grundfarbe $x$ nahe genug, dafs bei kleinen Aenderungen der zu Grunde liegenden Beobachtungszahlen es leicht an den Rand des Dreiecks oder in seine rothe Ecke rücken könnte, wie es die hier vorgetragene Theorie fordert."

S. 462. Die angegebene Uebereinstimmung der beiden aus zwei gänzlich verschiedenen Klassen von Beobachtungsdaten berechneten Werthe von $dE$ ist hier nur, wie H. v. Helmholtz noch selbst gefunden (*Wissenschaftl. Abhandl.* III. S. 458—459), durch ein Versehen vorgetäuscht worden. Die beiden rechnungsmäfsig richtigen Werthe sind 0.0300 und 0.0166.

Ich möchte hier noch bemerken, dafs H. v. Helmholtz die an dieser Stelle berechnete spectrale Vertheilung der Grundempfindungen nur als Beweis für die Brauchbarkeit der von ihm aufgestellten erweiterten Form des psychophysischen Gesetzes betrachtete und das specielle Resultat der Rechnung schon von vorne herein als sehr unsicher ansah. Er kam immer mehr zu der Ueberzeugung, dafs man auf Grund besseren Beobachtungsmateriales auch unter strenger Festhaltung des hier aufgestellten Principes zu Ergebnissen kommen würde, welche mit der in § 20 (auf Grund der von Hrn. C. Dieterici und mir ausgeführten Messungen) angenommenen spectralen Vertheilung der Grundempfindungen im Wesentlichen übereinstimmen.

„ 566 ist durch ein Versehen am Schlufs des § 24 folgender Passus ausgefallen:

„Die Veränderungen der einzelnen Farben bei ihrer Zusammenstellung mit anderen beschrieb Chevreul[1] genau. Die complementären Spiegelbilder an gefärbten Glasplatten wurden von Brandes[2] und Osann beschrieben; die beste Form gab Dove[3] diesem Versuch, welche später Ragona Scina[4] noch abänderte. Die Fälle, wo das inducirte Feld dem inducirenden gleich gefärbt wird, fanden Fechner und Brücke.[5] Dafs ein schwacher Unterschied der Farben vortheilhafter sei als ein starker, zeigte H. Meyer.[6] Uebrigens schlossen sich die neueren Beobachter fast alle der Ansicht von Plateau an, dafs der Contrast auf einer Veränderung der Empfindung beruhe. Ich selbst habe im vorliegenden Paragraphen die verschiedenen concurrirenden Ursachen vollständiger als bisher zu trennen gesucht und mich bemüht, zu zeigen, dafs der reine simultane Contrast auf einer Veränderung der Empfindung, nicht der Beurtheilung beruhe."

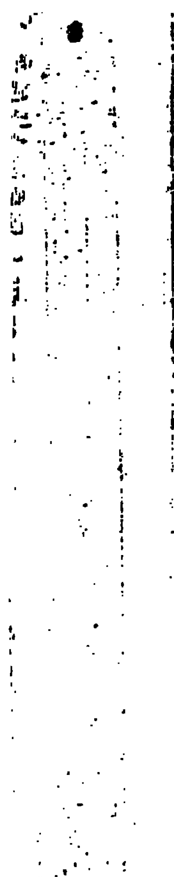
[1] Chevreul, *Mém. de l'Acad.* XI. 447—520.
[2] Brandes, *Gehler's neues Wörterbuch.* Art.: Farbe. IV. 124.
[3] Dove, *Pogg. Ann.* XLV. 158.
[4] Ragona Scina, *Racc. fisico-chimica.* II. 207.
[5] Brücke, *Denkschr. d. Wien. Acad.* III. 1850. Oct. 3.
[6] H. Meyer, *Pogg. Ann.* XCV. 170.

# Uebersicht

über die

# gesammte physiologisch-optische Litteratur

bis zum Schlusse des Jahres 1894.



# Vorbemerkung.

---

Bei der Benutzung der Litteratur-Uebersicht ist Folgendes zu beachten.

Wenn bei Zeitschriften die Bandzahl fehlt, so steht die citirte Abhandlung in m Jahrgang, unter dem sie eingeordnet ist.

Wird eine in einem bestimmten Jahre erschienene Abhandlung gesucht, so ıſs stets das voraufgehende, wie auch das nachfolgende Jahr durchgesehen werden, eine genaue Einordnung nicht immer möglich war, indem oftmals der Titel ıes Zeitschriftbandes eine andere Jahreszahl trägt, als diejenige, unter der die ızelnen Hefte erschienen sind.

Die Grenze zwischen „älterer“ und „neuerer“ Litteratur, deren Trennung in ınchen Paragraphen ausgeführt werden muſste, bildet in den meisten Fällen das hr 1866. Da, wo sie aus besonderen Gründen anders liegt, genügt zur schnellen ientirung ein Blick auf die vorangestellten Jahreszahlen.

Die bei den Zeitschrifttiteln benutzten Abkürzungen sind zwar nicht gleich-.ſsig durchgeführt, aber stets so gewählt, daſs für jeden auch nur einigermaſsen :teraturkundigen kein Zweifel möglich sein wird.

Die ausländische Litteratur lieſs sich leider nicht so vollständig zusammen-llen wie die deutsche; die meisten Lücken werden sich in den Angaben fremd-:achlicher Uebersetzungen deutscher Werke finden.

Bei Werken, welche in zahlreichen Auflagen erschienen sind, war es nicht ıner möglich, alle Auflagen anzuführen; doch ist fast ausnahmslos die erste und zte Auflage angegeben.

# Inhaltsverzeichnifs zur Litteraturübersicht.

# I.

## Werke, welche die gesammte physiologische Optik, grössere Abschnitte oder allgemeine Principien derselben behandeln.


**1600.**

1. Fabricius ab Aquapendente. *De visione.* Ven.

**1604.**

2. J. Kepler. *Paralipomena ad Vitellionem.* Frankf. Cap. 5.

**1613.**

3. Franciscus Aguilonius. *Opticorum libri sex.* Antwerpiae.

**1619.**

4. Scheiner. *Oculus sive fundamentum opticum, in quo radius visualis eruitur, sive visionis in oculo sedes cernitur et anguli visorii ingenium reperitur.* Oenip.

**1669.**

5. F. A. Jan et W. Kuffner. *De visu.* Lipsiae.

**1686.**

6. G. Briggs. *Ophthalmo-graphia, sive oculi ejusque partium descriptio anat., nec non, ejusdem nova visionis theoria.* Lugduni Batavorum.

**1687.**

7. Fabricius ab Aquapendente. *Opera omnia anatomica et physiologica.* Lipsiae. S. 187—248.

**1738.**

8. J. Jurin. *Essay upon distinct and indistinct vision* In: R. Smith: A complete system of optics. Cambridge 1738. (Deutsch von Kästner. Altenburg 1755.)

**1740.**

9. Le Cat. *Traité des sens.* Rouen. 1740. — Amsterdam 1744.

**1746.**

10. P. Camper. *Dissert. de visu.* Lugd. Batav.

**1758.**

11. J. T. C. Grimm. *De visu.* Gottingae.

**1759.**

12. Porterfield. *Treatise on the eye, the manner and phaenomena of vision.* Edinb.

**1761.**

13. A. Kircher. *Ars magna lucis et umbrae in decem libros digesta.* Amstellodami.

**1766.**

14. A. Haller. *Elementa physiologiae corporis humani.* Lausanne 1757—1766.

**1771.**

15. J. F. Haesseler. *Betrachtungen über das menschliche Auge.* Hamburg.

**1776.**

16. Priestley. *Geschichte der Optik.* Aus dem Englischen übersetzt, mit Anmerkungen und Zusätzen von Klügel. Leipzig.

1778.
17. A. HALLER. *De functionibus corporis humani praecipuarum partium.* Bern 1777 bis 1778.
1780.
18. ELLIOT. *Observations on the senses.* 1780. Deutsche Übers.: *Beobachtungen über die Sinne.* Leipzig 1785.
1819.
19. J. PURKINJE. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* Bd. I. *Beiträge zur Kenntniſs des Sehens in subjectiver Hinsicht.*. Prag.
1802.
20. J. G. MARKWORT. *Beweis der Activität des Sinnes des Gesichts.* Leipzig.
1822.
21. A. E. RÖDENBECK. *Quaedam ad theoriam visus pertinentia.*
1823.
22. L. C. A. NILSON. *Katechismus der Licht- oder Seh-Lehre.* Leipzig.
1825.
23. J. PURKINJE. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* Bd. II. *Neue Beiträge zur Kenntniſs des Sehens in subjectiver Hinsicht.* Berlin.
24. LEHOT. *Nouvelle théorie de la vision.* Paris.
1826.
25. J. MÜLLER. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes.* Leipzig.
1827.
26. TOURTUAL. *Die Sinne des Menschen.* Münster.
1828.
27. MUNCKE. Artikel: *Gesicht und Sehen* in Gehler's physikalischem Wörterbuch. Leipzig.
1830.
28. A. HUECK. *Das Sehen seinem äuſseren Processe nach.* Dorpat u. Göttingen.
1831.
29. D. BREWSTER. *A treatise on optics.*
1832.
30. F. ARNOLD. *Anatomische und physiologische Untersuchungen über das Auge des Menschen.* Heidelberg und Leipzig.
1834.
31. C. M. N. BARTELS. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes.* Berlin.
1836.
32. A. W. VOLKMANN. *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig.
1837.
33. J. MÜLLER. *Handbuch der Physiologie des Menschen.* Coblenz. Bd. II. S. 276—393.
1839.
34. F. W. G. RADICKE. *Handbuch der Optik.* Bd. II. S. 211—281.
1842.
35. BUROW. *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges.* Berlin.
1844.
36. MOSER. *Über das Auge.* Dove's Repertorium der Physik. Berlin. Bd. V.
1845.
37. TH. RUETE. *Lehrbuch der Ophthalmologie.*
1846.
38. A. W. VOLKMANN. Artikel: *Sehen* in R. Wagner's Handwörterbuch d. Physiologie. Braunschweig.
1847.
39. A. S. FIEDLER. *De sensu videndi.*
1847—53.
40. E. BRÜCKE. *Berichte über physiologische Optik in:* Fortschritte der Physik. Berlin. G. Reimer. Bd. I—V.
1852.
41. C. LUDWIG. *Lehrbuch der Physiologie des Menschen.* Heidelberg. Bd. I. S. 192—263.
1853.
42. C. STELLWAG VON CARION. *Die Ophthalmologie vom naturwissenschaftlichen Standpunkte aus.* 2 Bände. Erlangen 1853—1858.

1854.

43. TH. RUETE. *Lehrbuch der Ophthalmologie.* 2. Aufl.
44. L. L. VALLÉE. *Cours complet sur la vision de l'homme et des animaux.* Paris.

1856.

45. A. FICK. *Die medicinische Physik.* Braunschweig.

1861.

46. C. S. CORNELIUS. *Die Theorie des Sehens und räumlichen Vorstellens.* Halle.

1865.

47. H. AUBERT. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau.
48. H. SCHEFFLER. *Die physiologische Optik.* 2 Bde. Braunschweig.

1866.

49. A. FICK. *Die medicinische Physik.* 2. Aufl. Braunschweig.

1867.

50. A. v. GRAEFE. *Sehen und Sehorgan.* Berlin.
51. H. HELMHOLTZ. *Handbuch der physiologischen Optik.* Leipzig. (In Lieferungen erschienen während der Jahre 1856—1867.)

1868.

52. A. CLASSEN. *Gesammelte Abhandlungen über physiologische Optik.* Berlin.
53. H. HELMHOLTZ. *Optique physiologique traduit par Javal et Klein.* Paris.
54. — *Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens.* Preufsische Jahrbücher. XXI. S. 149—171., S. 263—290 u. S. 403—435. (Abgedruckt in: Vorträge und Reden. Bd. I. Braunschweig. 1884.)

1869.

55. F. COHN. *Licht und Leben.* Berlin.
56. H. GEROLD. *Die ophthalmologische Physik und ihre Anwendung auf die Praxis.* 2. Thle. Wien. (1869 u. 1870.)
57. A. RABUTEAU. *Des Phénomènes phys. de la Vision.* Paris.

1871.

58. J. BERNSTEIN. *Untersuchungen über den Erregungsvorgang im Nerven- und Muskelsystem.*

1872.

59. H. KAISER. *Compendium der physiologischen Optik für Mediciner und Physiker.* Wiesbaden, J. F. Bergmann. 368 S.

1873.

60. GERSTENBERG. *Randglossen zur Theorie des Sehens.* Progr. d. Realschule zu Osnabrück. 1872/73.
61. J. v. HASNER. *Beiträge zur Physiologie und Pathologie des Auges.* Prag.

1874.

62. WUNDT. *Grundzüge der physiologischen Psychologie.* Leipzig.
63. A. VULPIAN. *Note relative à l'influence de l'exstirpation du ganglion cervical supérieur sur les mouvements de l'iris.* Arch. de physiol. S. 177.

1875.

64. J. BERNSTEIN. *Fünf Sinne des Menschen. II. Der Gesichtssinn.* S. 46—153. Internat. wiss. Biblioth. XII. Bd Leipzig. Brockhaus.
65. J. DELBOEUF. *Théorie générale de la sensibilité.* Paris.

1876.

66. H. AUBERT. *Grundzüge der physiologischen Optik.* Gräfe-Sämisch, Handb. d. ges. Augenheilkde. II. Cap. 9. Leipzig. (Auch separat.)
67. A. CLASSEN. *Zur Physiologie des Gesichtssinnes.* (Sammlung physiologischer Abhandlungen, herausg. von W. PREYER. 1. Reihe. 1. Heft.) Jena.
68. — *Physiologie des Gesichtssinnes dargestellt auf Grundlage I. Kant's.* Braunschweig. 1876. Vieweg.
69. DELBOEUF. *Théorie générale de la sensibilité.* Bruxelles.
70. H. HARTSHORNE. *On some disputed points in physiological optics.*
71. H. HELMHOLTZ. *Optisches über Malerei.* Popul.-wissensch. Vorträge. III. S. 55—97. Abgedruckt in: Vorträge und Reden. Bd. II. Braunschweig. 1884.
72. J. L. S. JOLY. *Théorie physique de la vision.* Paris.
73. H. MAGNUS. *Das Auge in seinen ästhetischen und culturhistorischen Beziehungen.* Breslau. 1876. 158 S.

1877.

74. M. Edwards. *Du sens de la vue.* Paris. Masselon. 1877.

1878.

75. R. E. Dudgeon. *The human Eye.* London, Hardwicke u. Bogue. 92 S.
76. Giraud-Teulon. *L'oeil, notions élémentaires etc.* 2. Aufl. Paris, Ballière. 173 S.

1879.

77. A. Fick, W. Kühne und E. Hering. *Physiologie des Gesichtssinnes.* Handb. d. Physiol. Herausg. v. L. Hermann. III. Bd. 1. Theil. Leipzig.
78. A. v. Graefe. *Sehen und Sehorgan.* Vortrag. 2. Aufl. Berlin. Habel. 47 S.
79. H. Knapp. *Die geschichtliche Entwickelung der Lehre vom Sehen.* Wiesbaden. Bergmann.

1880.

80. A. Alt. *Lectures on the human eye in its normal and pathological condition.* New-York. Putmam's Son. 1880.
81. J. Bernstein. *Das Lichtbild und das Auge.* Natur u. Cultur. § 11. S. 168—194. Leipzig, Albrecht. 1880. 300 S.
82. M. A. Isignonis. *Die Theorie des Sehens und der Sinne überhaupt bei Aristoteles.* Diss. Basel. 59 S.
83. Wundt. *Grundzüge dir physiologischen Psychologie.* 2. Aufl. Leipzig.

1881.

84. L. Besser. *Was ist Empfindung?* Bonn.
85. G. B. Bono. *Di un estremo d'ottica fisiologica; studio su un vecchio di 104 anni.* Arch. per l'antrop. XI. S. 133.
86. H. P. Bowditch. *A comparison of sight and touch.* Journ. of Physiol. III. S. 232—245.
87. A. Goldscheider. *Die Lehre von den specifischen Energien der Sinnesorgane.*
88. J. Hoppe. *Psychologisch-physiologische Optik in experimenteller psychophysischer Darstellung.* Leipzig. Wiegand. 371 S.
89. Szokalski. *Die Folgen der Sehnervenreizung.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 383.

1882.

90. Bowditsch und Souchard. *A comparison of sight and touch.* Journ. of phys. III. 3. S. 1.

1883.

91. J. le Conte. *Die Lehre vom Sehen.* Internat. wiss. Bibliot. LV. Leipzig. XII. S. 261.
92. V. Urbantschitsch. *Zur Lehre von den Sinnesempfindungen.* Wien. med. Wochenschr. XXXIII. S. 554.

1884.

93. G. Löcherer. *Das Auge und das Sehen.* Nach Dr. Carter's Eyesight. Berlin. 210 S.

1885.

94. J. Rosenthal. *Die specifischen Energien der Nerven.* Biol. Centralbl. IV. No. 2—5.

1886.

95. Javal. *Vision.* Nouv. dict. de méd. et chir. prat. Paris. XXXIX. S. 516.
96. E. Mach. *Beiträge zur Analyse der Empfindungen.* Jena, Fischer. 168 S.

1887.

97. W. Wundt. *Grundzüge der physiologischen Psychologie.* 3. Aufl. Leipzig.

1888.

98. Grandclément. *L'oeil et le sens de la vue.* Paris. Asselin et H. 1888.

1890.

99. E. Wiedemann. *Zur Geschichte der Lehre vom Sehen.* Wiedemann's Ann. XXXIX. S. 470—474.

1891.

100. G. Hirth. *Aufgaben der Kunstphysiologie.* München. Hirth. 1891. In 2 Theilen. 611 S.

1893.

101. W. Wundt. *Grundzüge der physiologischen Psychologie.* 4. Aufl. Leipzig.

**1894.**

102. K. Lasswitz. *Ueber psychophysische Energie und ihre Faktoren.* Arch. f. systemat. Philos. I. 1.

103. Th. Young. *Oeuvres ophthalmologiques.* Französisch von Tscherning. Kopenhagen. Höst u. Sön. 248 S.

---

II.

# Tractus opticus und Gehirnlocalisation, soweit sich diese auf den Gesichtssinn bezieht.

**Hinsichtlich weiterer Litteraturangaben mufs auf die Zusammenstellungen in den entsprechenden physiologischen Werken verwiesen werden.**

---

**1876.**

104. F. Goltz u. E. Gergens. *Ueber die Störungen des Sehvermögens nach Verstümmelung des Grofshirns.* Arch. f. d. ges. Physiol. XIII. 15—27. XIV. 416—420.

105. F. Plenk. *Ueber Hemiopie und Sehnervenkreuzung.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. V. S. 140—158.

**1877.**

106. M. Duval. *Relations de la sixième et de la troisième paire des nerfs crâniens.* Gaz. d. hôp. S. 1115.

**1878.**

107. L. Luciani u. A. Tamburini. *Sulle funzioni del cervello. Ric. sperim. sui centri psico-motori corticali.* Reggio-Emilia. 1878. S. 35.

**1879.**

108. Curschmann. *Ueber die centralen Centren des Gesichtssinnes.* Centralbl. f. Augenheilkde. III. Juni. S. 181.

109. M. Duval. *Der wahre Ursprung der motorischen Nerven des Auges.* Gaz. hebdom. 1879. No. 27.

110. Cl. Gallopain. *Le Pli Courbe n'est ni le siège de la perception des impressions visuelles ni le centre des mouvements des yeux.* Ann. méd.-psychol. (6). II. 2. S. 177—188.

111. F. Goltz. *Ueber die Verrichtungen des Grofshirns. 3. Abth.* Arch. f. d. ges. Physiol. XX. 1. S. 1—54.

112. L. Luciani u. A. Tamburini. *Sui centri psicosensori corticali.* Mailand.

113. Moeli. *Versuche an der Grofshirnrinde des Kaninchens.* Virchow's Arch. LXXVI. 3.

114. H. Munk. *Physiologie der Sehsphäre der Grofshirnrinde.* Arch f. Anat. u. Physiol. III. S. 581—592. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. III. S. 255—266

115. J Stilling. *Notiz über die Bedeutung der Occipitallappen des Gehirns für das Sehen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. III. S. 33—34.

**1880.**

116. Blaschko. *Das Sehcentrum bei Fröschen*

117. H. Munk. *Ueber die Sehsphären der Grofshirnrinde.* Mon.-Ber. d. Berl. Akad. d. Wiss. 3 Juni. S. 485.

118. — *Ueber die Sehsphäre und die Riechsphäre der Grofshirnrinde.* Arch. f. Anat. u. Physiol. IV. S. 149—156.

119. — *Weiteres zur Physiologie der Sehsphäre.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 28.

120. Schneller. *Ueber den Sitz der Farbenempfindung.* Deutsch. med. Wochenschr. No. 42. — Tagebl. d Vers. d. Naturf. u. Aerzte in Danzig. Ophthalm. Sect. S. 108 u. 254.

121. C. Wernicke. *Die besonderen Verhältnisse der Projection, die, nach [...] Thierversuchen zu schliefsen, für die Sehsphären des Menschen gelten [...]* Verhandl. d. Berl. physiol. Ges. No. 2/3. S. 12. Arch. f. Anat. u. [...] Suppl.-Bd. 1880. S. 184—186.

**1881.**

122. F. C. Dalton. *Centres of vision in the cerebral hemispheres.* Med. Rec[...] 13. (No. 542.) S. 337.
123. S. Exner. *Untersuchungen über die Localisation der Functionen in der Gr[...]rinde des Menschen.* Wien. 1881. 180 S.
124. F. Goltz u. D. Ferrier. *On the localisation of function in the cortex [...]* Internat. med. Congr. in London. I. 218—243.
125. H. Munk. *Zur Physiologie der Grofshirnrinde.* Arch. f. Anat. u. [...] S. 455—459. — Erlenmeyer's Centralbl. f. Nervenheilkde. S. 388.
126. — *Funktionen der Grofshirnrinde.* Berlin, Hirschwald.
127. J. Samelsohn. *Zur Frage des Farbensinncentrums.* Centralbl. f. d. med[...] No. 47. 50.
128. Tamburini. *On cerebral localisation and hallucinations.* Transact. of the [...] med. Congr. in London. Psychiatr. Sect. III. S. 631.
129. V. Urbantschitsch. *Beobachtung von physiologischer Seelenblindheit.* Wie[...] Jahrb. S. 543.

**1882.**

130. N. E. Brill. *A case of destructive lesion of the cuneus, accompanied b[...] blindness.* Americ. Journ. Neurol. u. Psychiatr. New-York. I. S. 356.
131. — *Color-blindness from a cerebral lesion.* Chicago M. Rev. V. S. 162.
132. F. C. Dalton. *Centres of vision in the cerebral hemispheres.* Med. Rec[...] 13. S. 337.
133. Dickinson. *Optic chiasma-visual centres.* The Alienist and Neurologist. [...]
134. Dreschfeld. *A further contribution on the course of the optic nerve fibres [...] brain.* Brain. V. S. 118.
135. J. Gad. *Ueber einige Beziehungen zwischen Nerv, Muskel und Centrum.* Festsch[...] dritten Säcularfeier der Alma Julia Maximiliana, gewidmet von der medici[...] Facultät Würzburg. Bd. II. S. 43.
136. W. J. Mickle. *Localisation of the visual centres of the central cortex.* [...] Times and Gaz. No. 1648. 16. Januar.
137. Parinaud. *Du siège cérébral des images accidentelles ou consécutives.* Soc. [...] Sitzg. v. 22. April. Gaz. des Hôp. S. 459.
138. — *Des rapports croisés et directs des nerfs optiques avec les hém[...] cérébrales.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 10. S. 179.
139. Samelsohn. *Seelenblindheit beim Menschen.* Berl. klin. Wochenschr. No. 20[...]
140. Schneller. *Zur Frage vom Farbensinncentrum.* Arch. f. Ophthalm. XXVI[...] S. 73.
141. V. Urbantschitsch. *Ueber den Einflufs von Trigeminusreizen auf die Sinnes[...]dungen, insbesondere auf den Gesichtssinn.* Arch. f. d. ges. Physiol. XXX. [...]

**1883.**

142. W. v. Bechterew. *Experimentelle Ergebnisse über den Verlauf der Sehnerve[...] und ihrer Bahn von den Kniehöckern an den Vierhügeln.* Neurol. Centralbl. [...]
143. — *Ueber den Verlauf der die Pupille verengenden Nervenfasern und über die [...]sation eines Centrums für die Iris und Contraction der Augenmuskeln.* A[...] d. ges. Physiol. XXXI. S. 60.
144. — *Ueber die Localisation des Centrums der Pupillenbewegung.* Wratsch. [...]
145. — *Ueber die Function der Sehhügel.* Wratsch. No. 4 u. 5. Neurol. Ce[...]
146. — *Zur Physiologie des Körpergleichgewichts. Die Function der centralen [...] Substanz des dritten Hirnventrikels.* Arch. f. d. ges. Physiol. XXXI. S. 479.
147. Bellonci. *Les lobes optiques des oiseaux.* Arch. Ital. de Biol. IV. S. 21.
148. J. Delboeuf. *Un nouveau centre de vision dans l'oeil humain.* Rev. S[...] XXXII. S. 167.
149. C. v. Monakow. *Experimentelle und pathologisch-anatomische Untersuchungen ü[...] Beziehungen der sog. Sehsphäre zu den infracorticalen Opticuscentren un[...] Nervus opticus.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XIV. S. 699.

150. C. v. Monakow. *Des centres d'origines des nerfs optiques et de leur relation avec l'écorce cérébrale.* Soc. helvét. des sc. nat. Zürich. 1883. Arch. des sc. phys. et nat. 1883. S. 133.
151. H. Munk. *Ueber die centralen Organe für das Sehen und Hören bei den Wirbelthieren.* Sitzgs.-Ber. d. preufs. Akad. d. Wiss. Berlin. XXXIV. 12. Juli.
152. A. Nieden. *Zur Lage des Sehcentrums beim Menschen.* Ber. d. XV. Vers. d. ophthalm. Ges. S. 4.
153. L. Ranney. *The corpora quadrigemina, with remarks concerning the diagnosis and localisation of lesions affecting sight.* New-York. 33 S.

1884.

154. Anaglino. *Riassunto delle attuali nostri cognizioni sui rapporti dell' apparecchio visivo coi centri nervosi.* Ann. di Ottalm. S. 3.
155. A. Angelucci. *Sul decorso delle fibre nel chiasma dei mammiferi e sul centro visivo delle corteccie cerebrali.* Gaz. med. di Roma. X. 20.
156. W. v. Bechterew. *Ueber die nach Durchschneidung der Sehnervenfasern im Innern der Grofshirnhemisphären auftretenden Veränderungen.* Neurol. Centralbl. S. 1.
157. — *Ueber die Function der Vierhügel.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXIII. S. 413.
158. Bellonci. *La terminaison centrale du nerf optique chez les mammifères.* Arch. Ital. de Biol. S. 405.
159. Bianchi. *Sur les compensations fonctionnelles de l'écorce cérébrale.* Arch. Ital. de Biol. S. 291.
160. P. Bunge. *Ueber Gesichtsfeld und Faserverlauf im optischen Leitungsapparat.* Halle. 36 S. Habilit.-Schr.
161. S. M. Burnett. *Are there separate centres for light-, form- and color-perception.* Arch. of Med. New York. Vol. XII. No. 2. S. 97.
162. A. Christiani. *Zur Physiologie des Gehirns.* Verh. d. physiol. Ges. zu Berlin. 1883/84. No. 15 u. 16.
163. — *Zur Kenntnifs der Functionen des Grofshirns beim Kaninchen.* Berl. akad. Sitzgs.-Ber. XXVIII. S. 635.
164. Ferrier u. Yeo. *On the effects of lesion of the cerebral hemispheres.* Proc. Roy. Soc. XXXVI. S. 229.
165. F. Goltz. *Zur Localisation im Grofshirn.* Berl. klin. Wochenschr. XXI. No. 20.
166. — *Ueber die Verrichtungen des Grofshirns.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXIV. S. 450.
167. J. Hamilton. *Destruction of occipital lobe accompanied by blindness.* Brain. XXV. 4. S. 89.
168. — *On the cortical connexions of the optic nerves.* Proc. Roy. Soc. London. XXXVII. S. 1.
169. J. Loeb. *Die Sehstörungen nach Verletzung der Grofshirnrinde.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXIV. S. 67, 115.
170. L. Luciani. *On the sensorial localisation in the cortex cerebri.* Brain. VII. S. 144.
171. H. Munk. *Ueber die centralen Organe für das Sehen und Hören.* Berl. Akad. Sitzgs.-Ber. XXIV. S. 1.
172. Schiff. *Ueber die Functionen des Gehirns.* Pflüger's Arch. f. Physiol. XXXII. S. 417.
173. P. Zenner. *Cerebral localisation; the centres for vision.* Med. Rec. New-York. XXVI. S. 146.

1885.

174. A. Angelucci. *Sulla struttura del chiasma dei mammiferi e sul centro visivo della corteccia.* Bull. d. r. Acad. med. di Roma. XI. S. 17.
175. Bellonci. *Sulla terminazione centrale del nervo ottico nei mammiferi.* Bologna Mem. (4.) VI. S. 199—204
176. — *Intorno alla terminazione centrale dei nervi ottici nei mammiferi.* Rendic. d. sess. d. R. Acad. delle scienze di Bologna. S. 37.
177. O. Berger. *Zur Localisation der corticalen Sehschärfe beim Menschen.* Bresl. ärztl. Zeitschr. No. 1.
178. S. M. Burnett. *Are there separate centres for light-, form- and color-perception?* Washington Bull. Phil. Soc. VII. 72.
179. A. Christiani. *Zur Physiologie des Gehirns.* Berlin. Enslin. 1885. 176 S.

180. Debenedetti. *Determinazione del centro del movimento del globo oculare.* Atti della R. Acad. di Med. di Torino.
181. Eckhard. *Beiträge zur Geschichte der Experimentalphysiologie des Nervensystems. Geschichte der Physiologie der motorischen Nerven des Auges.* Eckhard's Beitr. z. Anat. u. Physiol. d. Auges. XI. S. 115.
182. Edinger. *Ueber den Verlauf der centralen Hirnnervenbahnen.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XVI. S. 858.
183. S. Exner. *Kritischer Bericht über die neueren physiologischen Untersuchungen, die Grofshirnrinde betreffend.* Biol. Centralbl. V. No. 1 u. 2.
184. Ch. Féré. *Trois autopsies pour servir à la localisation des troubles de la vision d'origine.* Arch. de Neurol. No. 26.
185. D. Ferrier. *A record of experiments on the effects of lesion of different regions of the cerebral hemisphere.* Philos. Transact. of the Roy. Soc. of London. Vol. 175. Part II. S. 479.
186. Filia. *Contribuzione clinica allo studio della localizzazione cerebrali.* Rivist. internaz. di med. e chir. No. 4.
187. v. Gudden. *Ueber die Frage der Localisation der Functionen der Grofshirnrinde.* Neurol. Centralbl. S. 411.
188. Günther. *Klinische Beiträge zur Localisation des Grofshirnmantels.* Zeitschr. f. klin. Med. XI. S. 1.
189. Högges. *Ueber die Detaileinrichtung des centralen und centrifugalen Theiles des die Augenbewegungen associirenden Nervenmechanismus.* Pest. med. chir. Presse. XXI. S. 65. 85.
190. P. Kaschanowski. *Die oculo-pupillären Centren.* Wien. med. Jahrb. 4. S. 445.
191. C. v. Monakow. *Ueber den Zusammenhang der Sehnerven mit den Sehsphären.* Verh. d. physiol. Ges. Berlin. 1885. 9. Arch. f. Psychiatr. XII. Heft 3. XIV. Heft 5. XVI. Heft 1.
192. — *Experimentelle und pathologisch-anatomische Untersuchungen über die Beziehungen der sogenannten Sehsphäre zu den infracorticalen Opticuscentren und zum Nervus opticus.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XVI. 1. S. 151—200. 319—353.
193. — *Einiges über die Ursprungscentren des Nervus opticus und über die Verbindungen derselben mit der Sehsphäre.* Verh. d. physiol. Ges. in Berlin. No. 6, 7 u. 8. Arch. f. Physiol. S. 329.
194. R. Richter. *Zur Frage der optischen Leitungsbahnen des menschlichen Gehirns.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XVI. S. 639.
195. — *Ueber die optischen Leitungsbahnen des menschlichen Gehirns.* Allgem. Zeitschr. f. Psychiatr. XLI. S. 636.
196. Wilbrand. *Ueber concentrische Gesichtsfeldeinschränkung bei functionellen Störungen der Grofshirnrinde und über Incongruenz hemianopischer Gesichtsfelddefecte.* Klin. Monatsbl. f. Augenhlkde. S. 73.
197. Wising. *Ett bidrag till frågan om de cerebrale localisationerna.* Hygiea. XLVII. 4. S. 239.

1886.

198. W. v. Bechterew. *Ueber die Function der Sehhügel bei Thieren und den Menschen.* (Russisch.) Westnik klin. i sudebnoj Psychiatr. i Neuropath. III. 3.
199. A. Christiani. *Zur Physiologie des Gehirns.* du Bois' Arch. f. Physiol. S. 559.
200. — *Sehsphäre und Opticus.* Tagebl. d. 59. Vers. dtsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 143.
201. L. Darkschewitsch. *Ueber die sogenannten primären Opticuscentren und ihre Beziehung zur Grofshirnrinde.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abth. S. 249.
202. S. Exner. *Ueber neuere Forschungsresultate, die Localisation in der Hirnrinde betreffend.* Wien. med. Wochenschr. No. 49, 50 u. 51.
203. S. Exner und J. Paneth. *Ueber Sehstörungen nach Operationen im Bereich des Vorderhirns.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 62.
204. v. Gudden. *Ueber die Frage der Localisation der Functionen der Grofshirnrinde.* Zeitschr. f. Psychiatr. Bd. 42.
205. Hitzig. *Sehsphäre und Opticus.* Tagebl. d. 59. Vers. dtsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 142.
206. Ph. Knoll. *Ueber die Augenbewegungen bei Reizung einzelner Theile des Gehirns.* Sitzgs.-Ber. d. kgl. Akad. d. Wiss. zu Wien. Bd. 94. 3.

7. J. Loeb *Beiträge zur Physiologie des Grofshirns.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXIX. S. 265.
8. Luciani u. Seppilli. *Die Functionslocalisation auf der Grofshirnrinde.* Deutsch von O. Fraenkel. Leipzig. Denicke. 1886.
9. H. Munk. *Sehsphäre und Opticus.* Tagebl. d. 59. Vers. dtsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 142.
0. — *Ueber die centralen Organe für das Sehen und Hören bei den Wirbelthieren.* Sitzgs.-Ber. d. preufs. Akad. d. Wiss. Heft 7, 8 u. 9.
1. — *Demonstration von Gehirnen mit exstirpirten Sehsphären.* Tagebl. d. 59. Vers. dtsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 415.
2. C. Reinhard. *Zur Frage der Hirnlocalisation.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XVII. S. 717. XVIII. S. 240.

1887.

3. W. v. Bechterew. *Die Bedeutung der Sehhügel auf Grund von experimentellen und pathologischen Daten.* Virchow's Arch. Bd. 110. S. 102—154, 322—365.
4. L. Bouveret. *Observation de cécité totale par lésion corticale.* Rev. gén. d'Ophth. S. 481.
5. L. Darkschewitsch. *Ueber die Leitungsbahn des Lichtreizes von der Netzhaut des Auges auf den Nervus oculomotorius.* (Russisch.) Anatomisch - Physiologische Untersuchungen. Moskau. 1887. 146 S.
6. — *Die Betheiligung des oberen Vierhügels bei der Uebertragung des Lichtreizes auf die Kerne des Nervus oculomotorius.* (Russisch.) Medizinskoje Obozrenje. XXXIII. 9. S. 907. — Abh. d. II. Congr. d. russ. Aerzte zu Moskau. II. S. 72.
7. M. Duval. *Quelques exemples de dynamogénie sur les centres des organs des sens.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 763.
8. S. Exner. *Ueber Sehstörungen nach Operationen im Bereich des Vorderhirns.* Pflüger's Arch. f. d. ges Physiol XL. S 62.
9. S. Exner und J. Paneth. *Das Rindenfeld des Facialis und seine Verbindungen bei Hund und Kaninchen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLI. S. 349.
0. Ph. Knoll. *Ueber die Augenbewegungen bei Reizung einzelner Theile des Gehirns.* Wien, Gerold's Söhne. 1887.
1. Lannegrace. *De l'influence de certaines lésions cérébrales sur l'appareil de la vision.* Soc. de méd. et de chir. de Montpellier. 1 Semester.
2. J. Nussbaum. *Ueber die wechselseitigen Beziehungen zwischen den centralen Ursprungsgebieten der Augenmuskelnerven.* Medic. Jahrb. S. 407
3. C. Reinhard. *Zur Frage der Hirnlocalisation.* Arch. f. Psychiatr. XVIII. S. 240 u. 449.
4. Siemerling. *Casuistischer Beitrag zur Localisation im Grofshirn.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XVIII. 3. S. 877.
5. A. Vetter. *Ueber den derzeitigen Stand der Frage von der Localisation am Gehirn.* Deutsch. Arch. f. klin. Medic. Bd. 40. S. 228.
6 H. Wilbrand. *Die Seelenblindheit als Herderscheinung und ihre Beziehungen zur homonymen Hemianopsie zur Alexie und Agraphie.* Wiesbaden. Bergmann. 1887. 182 S.

1888.

7 Arndt. *Zur Frage von der Localisation der Functionen der Grofshirnrinde.* Berl. klin. Wochenschr. No 8.
8. Bellonci. *Ueber die centrale Endigung des Nervus opticus bei den Vertebraten.* Zeitschr. f. wiss. Zool XLVII. 1
9 S Brown. *The centres for sight and hearing* Med Rec. XXX. No 3. S. 90.
0 A. Chauffard *De la cécité subite par lésions combinées des deux lobes occipitaux (Amaurose corticale).* Rev. de méd. No 2.
1. S Danillo. *Ueber die Beziehung der Hinterhauptlappen der neugeborenen und jungen Thiere zu den Augenbewegungen.* Russisch Wratsch. No. 48.
2 C S. Freund. *Einige Grenzfälle zwischen Aphasie und Seelenblindheit* Centralbl. f. Nervenheilkde. No. 8.
3. Fr Goltz. *Ueber die Verrichtungen des Grofshirns.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol Bd. 42. S. 419.
4. M. Jastrowitz *Beiträge zur Localisation im Grofshirn und über deren praktische Verwerthung.* Dtsch med. Wochenschr. No. 8

235. Lannegrace. *Influence des lésions corticales sur la vue chez le chien.* Compt. rend. hebd. des séances de la Soc. de Biol. V. No. 32. S. 708.

236. A. Richter. *Pathologisch-Anatomisches und Klinisches über die optischen Leitungsbahnen des menschlichen Gehirnes.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XX. S. 504.

237. E. C. Spitzka. *The oculo-motor centres and their co-ordinators.* Journ. of nerv. and ment. diseas. New-York. XV. S. 413.

238. A. N. Vitzou. *Contribution à l'étude du centre cérébro-sensitif visuel chez le chien.* Compt. rend. hebd. de l'Acad. des sc. de Paris. Bd. XVII. No. 4. S. 276.

**1889.**

239. J. Anderson. *Homonymous hemianopsia: recovery: subsequent death and necropsy.* Brit. med. journ. No. 1508. S. 1155. — Lancet. No. 3456. S. 1062.

240. A. Angelucci. *Qualità visive delle corteccie cerebrali nei vertebrati superiori.* Ann. di Ottalm. XVII. S. 551.

241. W. v. Bechterew. *Ueber die Leitungsbahn des Lichtreizes von der Netzhaut auf den N. oculomotorius.* (Russisch.) Arch. Psychiatr. Neurol. i sudebnoj Psychopath. XIII. 1. S. 1.

242. A. H. Bennett und Th. Lavill. *A case of permanent conjugate deviation of the eyes and head, the result of a lesion limited to the sixth nucleus etc.* Brain. S. 102.

243. G. Fasola. *Effetti di scervellazioni parziali totali e negli uccelli, inordine alla visione.* Riv. sperim. di Freniatria. XV. S. 317.

244. C. S. Freund. *Ueber optische Aphasie und Seelenblindheit.* Arch. f. Psychiatr. XX. S. 276—297, 371—416.

245. A. v. Frisch. *Occipitalwunde mit Hemianopsie.* Mitth. d. Wien. med. Doctorenkollegiums. XV. No. 9.

246. Lannegrace. *Influence des lésions corticales sur la vue.* Arch. de méd. expér. et anat. pathol. No. 1. S. 87.

247. H. Lissauer. *Ein Fall von Seelenblindheit nebst einem Beitrag zur Theorie derselben.* Arch. f. Psychiatr. XXI. S. 222.

248. C. v. Monakow. *Experimentelle und pathologisch-anatomische Untersuchungen über die optischen Centren und Bahnen.* (Neue Folge.) Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XX. 3. S. 714—787.

249. H. Munk. *Ueber die centralen Organe für das Sehen und das Hören bei den Wirbelthieren.* Sitzgs.-Ber. d. preuſs. Akad. d. Wiss. 20. Juni. 1889. S. 615.

250. P. Oulmont. *Cécité subite par ramolissement des deux lobes occipitaux.* Gaz. hebd. de Méd. et de Chir. No. 38. S. 607.

251. A. Pick. *Kritischer Beitrag zur Lehre von der Localisation in der Groſshirnrinde.* Zeitschr. f. Heilkde. X.

252. S. Sharkey. *Case of cortical and subcortical disease of the occipito angular region producing hemianopsia.* Transact. of the ophthalm. soc. VIII. S. 304.

253 Siemerling. *Ein Fall von sogenannter Seelenblindheit nebst anderweitigen cerebralen Symptomen.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XXI. S. 284—299.

254. Tomaschewski. *Zur Frage über die Veränderungen in der Gehirnrinde in einem Falle von in früher Kindheit erworbener Blindheit und Taubheit.* Centralbl. f. Nervenheilkde. XII. S. 21.

**1890.**

255. W. v. Bechterew. *Ueber die Sehfläche auf der Oberfläche der Hirnhemisphären.* (Russisch.) Arch. Psychiatr. Neurol. i sudebnoj Psychopath. XV. S. 1.

256. de Bono. *Contributo allo studio delle localizzazioni cerebrali dai sintomi oculari.* Rendiconto del XII. Congresso della Associazone Ottalmologica Italiana. Pisa. S. 39.

257. J. Déjerine, P. Sollier et E. Auscher. *Deux cas d'hémianopsie homonyme, par lésions de l'écorce du lobe occipital.* Arch. de Physiol. (5.) II. S. 177—192.

258. Dommartin. *Cécité subite consécutive à un traumatisme de la région occipitale.* Arch. de méd. et de pharm. milit. No. 3. S. 211.

259. D. Ferrier. *The Croonian lectures on cerebral localisation.* Brit. med. Journ. S. 1289—1294, 1349—1354, 1413—1418.

260. Förster. *Ueber Rindenblindheit.* Graefe's Arch. XXXVI. 1 Abth. S. 94—108.

261. M. Knies. *Ueber die centralen Störungen der willkürlichen Augenmuskeln.* Arch. f. Augenheilkde. XXXII. S. 19—51.

262. C. Moli. *Veränderungen des Tractus opticus bei Erkrankungen des Occipitalhirns.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenheilkde. XXII. S. 72—120.

3. Mott. *Report on bilateral associated movements and on the functional relations of the corpus callosum to the motor cortex.* Brit. med. journ. I. S. 1124.
4. — *Report on associated eye movements by unilateral and bilateral cortical faradization of the monkey's brain.* Brit. med. journ. I. S. 1419.
5. H Munk. *Sehsphäre und Augenbewegungen.* Sitzgs.-Ber. d. kgl. Akad. d. Wiss. in Berlin. S. 53—74.
6. — *Ueber die Functionen der Grofshirnrinde.* 2. Aufl. Berlin. A. Hirschwald. 1890.
7. J. L. Nuel. *Localisation de quelques phénomènes morbides dans le cerveau à l'aide des troubles visuels.* Ann. de la soc. méd.-chir. de Liège. S. 208.
8. Obregia. *Ueber Augenbewegungen auf Sehsphärenreizung.* Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 260—279.
9. Perlia. *Ansicht des Mittel- und Zwischenhirns eines Kindes mit congenitaler Amaurose.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (4.) S. 217—223.
0. Ch. Richet. *Un cas de cécité expérimentale double chez un chien, avec autopsie.* Rev. phil. XXIX. S. 554—557.
1. Schmidt-Rimpler. *Cortical hemianopsia with secondary degeneration of the optic nerve.* Arch. of Ophthalm. XIX. H. 2 u. 3.
2. Stowell. *Blindness following cerebro-spinal Meningitis, with recovery after two years.* New York. Med. Journ. 9. Aug.
3. Thompson und Brown. *Experiments upon the cortical sight centre.* Researches of the Loomis Laboratory New York. I. S. 13.
4. H. Wilbrand. *Die hemianopischen Gesichtsfeldformen und das optische Wahrnehmungscentrum.* Wiesbaden. Bergmann. 1890.
5. Zerelitzky. *Experimentelle Untersuchungen über die Function der Hirnrinde des Occipitallappens der Hemisphäre bei höheren Thieren.* (Diss. Petersburg. Russisch.) Refer. in Arch. Psychiatr. Neurol. i sudebnoj Psychopathol. XVI. 1. S. 151. — Oestreich-ungar. Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 29. S. 546.

**1891.**

6. G. W. M'Caskey. *Hemianopsie, ein diagnostisches Merkmal von Hirnerkrankung.* The Amer. Lancet. 1891. März
7. M. v. Gonzenbach. *Zur Lehre von der einseitigen Amaurose. Intracranieller Opticus- and Chiasma-Tumor.* Diss. Basel. 52 S.
8. A. Groenouw. *Ueber doppelseitige Hemianopsie centralen Ursprunges.* Arch. f. Psychiatr. Bd. 23. S. 339—367.
9. P. Grosch. *Eine Herderkrankung des Gehirns mit Ophthalmoplegie und Opticus-Atrophie.* Diss. Jena. 29 S.
0. O. Haab. *Der Hirnrindenreflex der Pupille.* Zürich, Müller. 8 S.
1. J. Hirschberg. *Ueber Sehstörungen durch Gehirngeschwulst.* Neurol. Centralbl. X. S. 450—455.
2. S. Kirilzew. *Zur Casuistik der Sehhügel-Affectionen.* (Russisch.) Medicinskoje Obozzenije. No. 4.
3. J. P. Morat und M. Doyon. *Le grand sympathique nerf accomodateur.* Arch. de Physiol. (5.) III. S. 507—522.
4. Mott u Schaefer. *On associated eye movements produced by cortical faradization of the monkey's brain.* Brain. XIII. S. 165.
5. H. Munk. *Sehsphäre und Raumvorstellungen.* Intern. Beitr. z. wiss. Med. Virchow-Festschrift). Bd. I. S. 355—366. Berlin, Hirschwald.
6. H. D. Noyes. *Hemianopsia.* N. Y. Med. Record. 4. April.
7. Ch. A. Oliver. *Ein Fall von intracranieller Neubildung, localisirt durch oculare Symptome.* (Uebersetzt von A. Weiland.) Knapp u. Schweigger Arch. f. Augenheilkde. Bd. XXIV. S. 157—160.
8. Perlia. *Ueber die Beziehungen des Opticus zum Centralnervensystem.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXIX. S. 191—202.

**1892.**

9. Ch. St. Bull. *Contribution to the subject of intracranial lesions, with defects in the visual fields. Five cases with autopsies.* Transact. of Americ. ophthalm. soc. XXVIII. S. 268
0. A. Chauveau. *Sur l'existence de centres nerveux distincts pour la perception des couleurs fondamentales du spectre.* France Médicale. No. 50. S. 787. Compt. Rend. Bd. 115. S. 908.

291. Fr. Müller. *Ein Beitrag zur Kenntnifs der Seelenblindheit.* Arch. f. Psychiatr. XXIV. 3. S. 856—918.
292. Ch. Richet. *Cécité psychique expérimentale chez le chien.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (N. F.) IV. 7. S. 146—148.
293. — *Des lésions cérébrales dans la cécité psychique expérimentale chez le chien.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. S. 237.
294. G. Seppilli. *Sui rapporti della cecità bilaterale colle affesioni dei lobi occipitali.* Riv. Sperim. di Freniatria. XVIII. S. 245—261.
295. A. N. Vitzou. *I centri cerebro-visivi nel cane e nella scimmia.* Congr. Intern. di fisiol. Liegi, August 1892.

1893.

296. Brissaud. *La fonction visuelle et le cuneus.* Ann. d'Ocul. Bd. 110. S. 321. 1893.
297. G. F. W. Ewens. *A theory of cortical visual representation.* Brain. No. 64. S. 475 bis 492.
298. S. E. Henschen. *On the visual path and centre.* Upsala. —; Brain. No. 61/62. S. 170 bis 181.
299. O. v. Leonova. *Ueber das Verhalten der Neuroblasten des Occipitallappens bei Anophthalmie und Bulbusatrophie und seine Beziehungen zum Sehact.* Arch. f. Anat u. Physiol. S. 308—318.
300. Schmidt-Rimpler. *Doppelseitige] Hemianopsie mit Sectionsbefund.* Arch. f. Augenheilkde. S. 181.
301. J. Turner. *A case of left homonymous hemianopsia.* Brain. No. 64. S. 562—568.
302. Vialet. *Les centres cérébraux de la vision et l'appareil nerveux visuel intra-cérébral.* Paris, F. Alcan. 355 S.
303. A. N. Vitzou. *Effets de l'ablation totale des lobes occipitaux sur la vision, chez le chien.* Arch. de Physiol. (5.) V. S. 689—699.

1894.

304. A. Angelucci. *Untersuchungen über die Sehthätigkeit der Netzhaut und des Gehirns.* Unters. z. Naturlehre d. Menschen u. d. Thiere. Herausg. von Moleschott. XIV. 3.
305. Dejerine u. Vialet. *Ueber einen Fall von Rindenblindheit intra vitam diagnosticirt und durch Autopsie bestätigt.* Allgem. med. Centr.-Ztg. No. 8. S. 93.
306. S. E. Henschen. *Sur les centres optiques cérébraux.* Rev. gén. d'Ophthalm. XIII. S. 337—352.
307. Jouslain. *Surdité unilatérale et perte d'un oeil par suite de contusion et d'émotion.* Bull. et mém. de la soc. de laryngol. etc. de Paris. 5.
308. H. Magnus. *Ein Fall von Rindenblindheit.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 4. S. 73.
309. H. Rabus. *Zur Kenntnifs der sogenannten Seelenblindheit.* Diss. Erlangen. 40 S.
310. Vialet. *Les centres cérébraux de la vision et l'appareil nerveux visuel intra-cérébral.* Ann. d'oculist. Bd. 111. S. 161—199.
311. — *Considérations sur le centre visuel cortical à propos de deux nouveaux cas d'hémianopsie corticale suivis d'autopsie.* Arch. d'Ophtalm. XIV. S. 422—426.

# III.

# Specielle Litteratur zur physiologischen Optik.

## § 1.

## Formen des Sehorgans im Allgemeinen.

### 1. Historisches.

**1877.**

2. H. Magnus. *Historische Tafeln zur Anatomie des Auges.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XV. Beilage-Heft. 17 S.

**1878.**

3. H. Magnus. *Die Anatomie des Auges bei den Griechen und Römern.* Leipzig. Veit & Co. 1878. 67 S.

4. Szokalski. *Die Kenntnisse des Baues und der Functionen des menschlichen Auges im Altertum und Mittelalter.* Medycyna. 1878. S. 107.

### Entwickelungsgeschichte; allgemeine, specielle und vergleichende Anatomie der Thieraugen.

**1715.**

5. G. Bidloo. *De oculis et visu variorum animalium observationes physico-anatomicae.* Lugduni Bat.

**1808.**

6. J. A. Albers. *Ueber den Bau der Augen verschiedener Thiere.* Münch. Acad.

**1826.**

7. M. de Serres. *Ueber die Augen der Insekten.* Aus d. Französ. v. Diefenbach. Berlin.

8. J. Müller. *Zur Physiologie des Gesichtssinnes.* Leipzig. S. 315.

**1835.**

9. R. Wagner. *Lehrbuch der vergleichenden Anatomie.*

**1840.**

J. Müller. *Handbuch der Physiologie des Menschen.* Coblenz. Bd. II. S. 305.

F. Will. *Beiträge zur Anatomie der zusammengesetzten Augen mit facettirter Hornhaut.* Erlangen.

**1843.**

R. Wagner. *Lehrbuch der speciellen Physiologie.* S. 383.

**1848.**

v. Siebold u. Stannius. *Lehrbuch der vergleichenden Anatomie.* Berlin.

**1852.**

Bergmann u. Leuckart. *Anatomisch-physiologische Uebersicht des Thierreichs.* Stuttgart.

**1856.**

F. Dujardin. *Remarques sur certaines dispositions de l'appareil de la vision chez les insectes.* Compt. Rend. XLII. 911. Inst. 194.

**1866.**

F. Plateau. *Sur la vision des poissons et des amphibies.* Mondes. (2.) XII 158—162. Arch. sc. phys. XXVII. 191—193. Compt. Rend. II. S. 449.

1867.

827. F. Dujardin. *Sur la vision des poissons et des amphibies.* Ann. des sc. natu VII. S. 15.

828. Polemann. *Sur un travail de F. Plateau relatif à la vision des poissons.* Bul d. Beux. (2.) XXII. 3—5.

1871.

829. F. Boll. *Beiträge zur physiologischen Optik. I. Das Sehen mit zusammengesetzte Augen und der Leuwenhoeksche Versuch.* Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 530—54

830. F. Holmgren. *Ueber die Blutgefäße der Hyaloiden des Froschauges.* Upsal Läkaref. Förh. VII. S. 127—130.

1872.

831. Emmert. *Die Organe des Sehens in den verschiedenen Thierkreisen.* (Zwei Vorträg in der Aula zu Bern.)

832. R. J. Lee. *Remarks on the sense of sight in birds.* Proc. of the Roy. Soc. XI 351—360.

1875.

833. S. Exner. *Ueber das Sehen von Bewegungen und die Theorie des zusammengesetzte Auges.* Wien. Akad. Ber. (3.) 72. S. 156—190.

1877.

834. L. Kessler. *Zur Entwickelung des Auges der Wirbeltiere.* Leipzig. 1877.

835. W. Kühne. *Eine Beobachtung über das Leuchten der Insectenaugen.* Unters. a. d physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. Bd. I. S. 242—247.

1878.

836. W. Crookes. *The senses of the lower animals.* The quart. Journ. of Sc. LII July. S. 289—315.

1879.

837. Th. v. Ewetsky. *Beiträge zur Entwickelungsgeschichte des Auges.* Arch. f. Augen heilkde. VIII. S. 241.

1880.

838. J. Chatin. *Contribution à l'étude des phénomènes de la vision chez les Gastéropodes pulmonés.* Gaz. hebdom. No. 2. S. 27.

839. J. Notthaft. *Ueber die Gesichtswahrnehmungen vermittelst des Facettenauges* Abh. d. Senkenberg. naturf. Ges. XII Frankfurt a. M. Winter, 1880. 91 S.

1881.

840. S. Exner. *Die Frage von der Functionsweise der Facettenaugen.* Biol. Centralbl. No. 9. S. 272.

1882.

841. E. Berger. *Beiträge zur Anatomie des Sehorganes der Fische.*

842. Berlin. *Ueber den physikalisch-optischen Bau des Pferdeauges.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. S. 17—36.

843. Dareste. *Sur une anomalie de l'oeil.* Compt. Rend. Bd. 95. S. 44—45.

844. L. Desfosses. *De l'oeil du Protée.* Compt. Rend. Bd. 94. No. 26. S. 1729—1731.

845. S. J. Hickson. *The Eye of Spondylus.* The quarterl. Journ. of microsc. Sc. S. 362—364.

846. Pufahl. *Die Augen der Vögel.* Zeitschr. d. Verb. d. ornithol. Vereine Pommerns u. Mecklenburgs. No. 5, 6 u. 7.

847. C. Ritter. *Das Auge eines Acranius histologisch untersucht.* Arch. f. Augenheilkde. XI. S. 215—218.

848. H. Virchow. *Beiträge zur vergleichenden Anatomie des Auges.* Habilit.-Schr. Berlin. 99 S.

1883.

849. E. Ray Lankaster u. A. G. Bourne. *The minute structure of the lateral and the central eyes of Scorpio and of Limulus.* The quaterl. Journ. of microsc. Sc. S. 177—212.

850. H. Virchow. *Augengefäße der Ringelnatter.* Sitzgs.-Ber. d. physiol. med. Ges. zu Würzburg. S. 132—134.

1884.

851. O. Bütschli. *Nachschrift zu Beiträge des Gastropodenauges von Hilger.* Morphol. Jahrb. X. S. 372—375.

2. J. Carrière. *On the eyes of some invertebrata.* The quaterl. Journ. of microsc. Sc. XXIV. S. 678.
3. G. V. Ciaccio. *Osservazioni anatomiche comparative intorno agli occhi della Talpa illuminata (T. europaea) e a quelli della Talpa cieca (T. coeca).* Mem. d. Acad. Reale delle scienze. Bologna. (4.) VI. S. 31—35.
4. R. Hilbert. *Ueber die nach der Geburt eintretenden entwickelungsgeschichtlichen Veränderungen der brechenden Medien und des Augenhintergrundes der Katze.* Graefe's Arch. f. Ophth. XXX. 3. S 245.
5. C. Hilger. *Beiträge zur Kenntnifs des Gastropodenauges.* Morphol. Jahrb. X. S. 351—371.
6. H. Grenacher. *Abhandlungen zur vergleichenden Anatomie des Auges. I. Die Retina der Cephalopoden.* Halle. Niemeyer. 1884. 50 S.
7. Pouchet. *Organes visuels des êtres unicellulaires.* (Soc. de Biol. 27. Oct.) Gaz. hebdom. S. 726.

1885.

8. J. Carrière. *Die Sehorgane der Thiere.* München. Oldenbourg. 1885. 147 Abb. u. 1 Taf.
9. S. J. Hickson. *The retina of insects.* Nature. London. XXXI. S. 341.
0 — *The eye and optic tract of insects.* The quarterl. Journ. of microsc. Sc. April. S. 215—251.
1. E. R. Lankaster. *Mr. Lowne on the morphology of insects' eyes.* Nature. XXXI. S. 504 u. 578.
2. B. T. Lowne u. S. J. Hickson. *The compound vision and morphology of the eye in insects.* Nature. XXXI. S. 433.
3. F. Plateau. *Recherches expérimentales sur la vision chez les insectes.* Brüssel. F. Hayez. 1885
4. — *Konnen die Insekten die Formen der Objekte erkennen?* Bullet. de l'Acad. roy. de Belgique. (3.) X. S. 231.
5. E. A. Schafer. *Mr. Lowne on the morphology of insects' eyes.* Nature. XXXII. S. 3—4.
6. H. Virchow. *Mittheilungen zur vergleichenden Anatomie des Wirbelthierauges.* 58. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Strafsburg. Tageblatt.

1886.

7. Ph. Bertkau. *Beitrage zur Kenntnifs der Sinnesorgane der Spinnen.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXVII. S. 589—631.
8. W. B. Canfield. *Vergleichend anatomische Studien über den Accommodationsapparat des Vogelauges.* Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 28. S. 121—170.
9. J. Carrière. *Kurze Mittheilungen aus fortgesetzten Untersuchungen uber die Sehorgane.* Zool. Anz. No. 217, 220, 229, 230. S. 141—147. 220—223, 479—481, 496—500.
0. G. V. Ciaccio. *Sur la fine structure des yeux des diptères.* Journ. de micrographie. No. 3, 5, 9 u. 10.
1. A. Forel. *Expériences et remarques critiques sur les sensations des insectes. I. Theil.* Rec. zool. suisse. IV. S. 1—50.
2. — *Les fourmis perçoivent-elles l'ultraviolet avec leurs yeux ou avec leur peau?* Compt. Rend. de la soc. helvét des sc. nat. S. 128
3. H. Grenacher. *Das Auge der Heteropoden.* Abh. der naturf. Ges. zu Halle. 65 S.
4. W. Patten. *Eyes of molluscs and arthropods.* Mitth. a. d. zool. Stat. zu Neapel. VI. S. 542—756.
5. F. Plateau. *Recherches sur la perception de la lumière par les Myriopodes aveugles.* Journ. de l Anat. et de Physiol S. 431.

1887.

6. F. E. Beddard. *Note on a new type of compound eye.* Ann. and mag. of nat. hist XX. No. 117 S. 233—236.
7. E. L. Mark. *Simple eyes in arthropods.* Bull. of the Museum of comp. zool. at Harvard College. XIII. No. 3.
8. W. Patten. *On the eyes of molluscs and arthropods.* Zool. Anz. No. 251. S. 256—261.
9. P. Schiefferdecker *Ueber das Fischauge.* Verh. d. 1. Vers. d. anat. Ges. zu Leipzig. S. 381.

### 1888.

380. S. Exner. *Functionsweise des facettirten Insectenauges.* Klin. Wochenschr. S. 8
381. C. Hess. *Beschreibung des Auges von Talpa europaea und Proteus anguine* Arch. f. Ophthalm. XXXV. 1. S. 1—19.
382. W. Patten. *Studies on the eyes of arthropods.* Journ. of morphol. II. S. 97—1
383. F. Plateau. *Vision chez les Chénilles.* Bull. de l'Acad. roy. de Belgique. ( XV. No. 1.
384. — *Vision chez les Arachnides.* Bull. de l'Acad. roy. de Belgique. (3.) XIV. No. S. 545.
385. — *Experimental-Untersuchungen über das Sehen bei den Arthropoden.* Bull. Be (3.) XVI. S. 395.

### 1889.

386. J. Carrière. *Bau und Entwickelung des Auges der zehnfüssigen Crustaceen u der Arachnoiden.* Biol. Centralbl. IX. No. 8. S. 225—234.
387. — *Ueber Molluskenaugen.* Arch. f. mikrosc. Anat. XXXIII. S. 378—402.
388. G. V. Ciaccio. *Sur la forme et la structure des facettes de la cornée et sur milieux réfringents des yeux composés des Muscidés.* Journ. de microgr. No. 3. S.
389. G. Denissenko. *Zur Frage über den Bau des Auges der Knorpelfische.* (Russisc Westnik ophth. VI. S. 133 u. Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 260—262.
390. R. Dubois. *Sur l'action des agents modificateurs de la contraction photodermatiq chez le Pholas dactylus.* Compt. Rend. Bd. 109. S. 320—322.
391. — *Sur le mécanisme des fonctions photodermatique et photogénique dans le siph du Pholas dactylus.* Compt. Rend. Bd. 109. S. 233—235.
392. M. Duval. *Le troisième oeil des vertébrés.* Journ. de microgr. No. 1. S. 16—20.
393. — u. Kalt. *Des yeux pinéaux multiples chez l'orvet.* Compt. Rend. de la Sc de Biol. No. 6. S. 85—86.
394. S. Exner. *Das Netzhautbild des Insectenauges.* Exner's Rep. XXV. S. 539—5 621—642 u. Wien. Ber. XCVIII. Abth. 3. S. 13—65.
395. F. H. Herrick. *The development of the compound eye of Alpheus.* Zool. Anz. XI S. 164.
396. C. Hess. *Beschreibung des Auges von Talpa europäa und von Proteus anguine* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (1.)
397. J. v. Kennel. *Einfache Augen der Anneliden.* Sitzgs.-Ber. d. Naturf. Ges. Dorpat. VIII. (3.) S. 405.
398. C. Kohl. *Einige Notizen über das Auge von Talpa europaea und Proteus ang neus.* Zool. Anz. XII. No. 312. S. 383—386. No. 313. S. 405—408.
399. W. Krause. *Die Retina der Torpedineen.* Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Physic 6. S. 206.
400. W. Schewiakoff. *Beiträge zur Kenntniſs des Acalephenauges.* Morphol. Jahr XV. S. 21—60.
401. S. Tornatola. *Ricerche sull' occhio della testuggine marina.* Messina. 1889.
402. S. Watase. *On the structure and development of the eyes of the limulus.* J. Hopk Univ. Circ. Baltimore. VIII. 34.

### 1890.

403. M. Beauduin. *Encore le troisième oeil des vertébrés.* Progr. méd. No. 11. S. 3
404. E. Béraneck. *L'oeil primitif des vertébrés.* Arch. d. sc. phys. et nat. XXIV. S. 36
405. F. Mazza. *Sull occhio della Cephaloptera giorna Cuv.* Ann. d. Mus. civ. di st nat. di Genova. (2.) IX. S. 455—475.
406. O. Pankrath. *Das Auge der Raupen und Phryganidenlarven.* Dissert. Hal 21 S. — Zeitschr. f. wiss. Zool. IL. S. 690—708.
407. G. H. Parker. *The histology and development of the eye in the lobster.* Bull. the Mus. of Comp. Zool. at Harvard Coll. XX. No. 1. S. 60.
408. W. de Sczawinska. *Contribution à l'étude des yeux de quelques crustacés. — Re cherches expérimentales sur les mouvements du pigment granuleux et des cellul pigmentaires sous l'influence de la lumière et d'obscurité.* Rec. d'Ophth. S. 569—57
409. E. Schöbel. *Zur postembryonalen Entwickelung des Auges der Amphibien.* Zool Jahrb. f. Syst. u. Ontog. IV. S. 297—347. — Dissert. Leipzig. 51 S.

### 1891.

410. C. Claus. *Das Medianauge der Crustaceen.* Wien. A. Hölder. 42 S. — Arb. au d. Wien. Zool. Institut. Bd. IX. S. 225—262.

11. S. EXNER. *Die Physiologie der facettirten Augen von Krebsen und Insecten.* Leipzig u. Wien. 1891. 206 S. 7 Taf. u. 23 Holzschn.
12. HIRSCHBERG. *Ueber das Auge des Kätzchens.* (Verh. d. Physiol. Ges.) Du Bois' Arch. S. 351—357.
13. P. MARTIN. *Die Entwickelung der Netzhaut bei der Katze.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 25—41.
14. K. W. SCHLAMPP. *Beiträge zur Anatomie des Auges vom Grottenolme.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 73—76.
15. H. VIALLANES. *Sur la structure de l'oeil composé des crustacés macroures.* Compt. Rend. CXII. S. 1017—1020.

**1892.**

16. E. A. ANDREWS. *On the eyes of Polychaetous Annelids.* Journ. of Morphol. VII. 2. S. 169.
17. C. CLAUS. *Ueber die Gattung Miracia Dana mit besonderer Berücksichtigung ihres Augen-Baues.* Wien. Hölder. 18 S.
18. S. FUCHS. *Ueber einige neuere Fortschritte in der Anatomie und Physiologie der Arthropodenaugen.* Zeitschr. f. Psychol. IV. S. 351—378.
19. E. GOEPPERT. *Untersuchungen über das Sehorgan der Salpen.* Morphol. Jahrb. XIX. II. S. 250.
20. C. KOHL. *Das Auge von Petromyzon Planeri und von Myxine Glutinosa.* Dissert. Leipzig. 57 S.
21. — *Rudimentäre Wirbelthieraugen.* Bibliotheca zoologica. Heft 13. Kassel. Fischer. 141 S.
22. W. A. NAGEL. *Die niederen Sinne der Insekten.* A. Moser (Franz Pietzcker). Tübingen. 68 S.
23. F. PURCELL. *Ueber den Bau und die Entwickelung der Phalangidenaugen.* Zool. Anz. XV. No. 408. S. 461.
24. K. W. SCHLAMPP. *Das Auge des Grottenolmes.* Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 53. 4. S. 537—558.
25. O. SCHULTZE. *Zur Entwickelungsgeschichte des Gefässsystems im Säugethier-Auge.* Festschr. f. KOLLIKER. Leipzig. Engelmann. 41 S.

**1893.**

6. TH. APENSAMER. *Ueber das Auge von Sentigera coleoptrata.* Verh. d. Zool. Bot. Ges. in Wien. 1893. 1. Sitzgs.-Ber. S. 8.
7 E. BERANECK. *L'individualite de l'oeil parietal.* Anat. Anz. VIII. S. 669—677.
8. C. CHUN. *Leuchtorgan und Facettenauge. Ein Beitrag zur Theorie des Sehens in grofsen Meerestiefen.* Biol. Centralbl XIII. S. 544—571
9. L. JOUBIN. *Note sur une adaptation particulière de certains chromatophores chez un céphalopode l'oeil thermoscopique de Chiroteuthis Bomplandi Verany?* Bull. de la soc. zool. de France. Tome XVIII. 1893.
0. A. KLINCKOWSTROM. *Beiträge zur Kenntnifs der Augen von Anableps tetrophthalmus.* Skand. Arch f. Physiol. V. S 67—70.
1. C. KOHL. *Rudimentare Wirbelthieraugen.* Bibl. zool. v. Leuckart u. Chun. 13. u. 14. Heft. 1. Lfrg. Stuttgart. Nägele.
2. L. MATTHIESSEN. *Die physiologische Optik der Facettenaugen unseres einheimischen Leuchtkafers.* Nach der Exner'schen Theorie des aufrechten Netzhautbildes. Arch d. Ver d Freunde d. Naturgesch. in Mecklenburg. 46. 2. S. 100—104
3. — *Die physiologische Optik der Facettenaugen unseres einheimischen Leuchtkafers.* Zeitschr f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 186—191.

**1894.**

4. A. KIESEL. *Untersuchungen zur Physiologie des facettirten Auges.* Aus Sitzgs.-Ber. d. Kgl. Akad. d. Wiss Diss. Marburg. 1894. 43 S. Wien. F. Tempsky. 43 S.
5. A. KLINCKOWSTROM. *Beitrage zur Kenntnifs des Parietalauges.* Zool. Jahrb. Abth. f Anat. VII. 2. S. 249.
6. M. v. LENHOSSEK. *Zur Kenntnifs der Netzhaut der Cephalopoden.* Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd 58. S. 636—661 Vorl. Mittheilung: Sitzgs. Ber. d. phys.-med. Ges. zu Würzburg. 1894. S. 110—114.

437. A. Mallock. *Insect sight and defining power of composite eyes.* Proc. Roy
LV. No. 332. S. 85.
438. H. B. Merrill. *Preliminary note on the eye of the Leach.* Zool. Anz. XVII
S. 286.
439. Fr. Purcell. *Ueber den Bau der Phalangidenaugen.* Zeitschr. f. wiss.
Bd. 58. S. 1—53.
440. G. J. Stoney. *On the limits of vision: with special reference to the vis
insects.* Philos. Mag. Bd. 37. No. 226. S. 316—331.
441. C. Ziem. *Geschichtliche Notiz über den Fächer im Auge der Vögel.* Zeits
Psychol. VI. S. 474.

## 3. Allgemeine Anatomie des menschlichen Auges.

Aeltere Darstellungen sind:

**1738.**

442. J. Taylor. *Le méchanisme, ou le nouveau traité de l'anatomie du globe de
avec l'usage de ses différentes parties, et de celles qui lui sont contigues.* Paris

**1780.**

443. J. G. Zinn. *Descriptio anatomica oculi humani iconibus ill., nunc altera vic
et necessario supplemento, novisque tab. acuta ab H. A. Wrisberg.* Gottingae.

**1801.**

444. Th. Sömmering. *Abbildungen des menschlichen Auges.* Frankfurt a. M. 180

**1804.**

445. Th. Sömmering. *Jcones oculi humani.* Francof.

**1842.**

446. C. F. Th. Krause. *Handbuch der menschlichen Anatomie.* Hannover 1842.
Thl. II. S. 511—551. (Enthält auch eine Zusammenstellung der älteren Litte

**1847.**

447. E. Brücke. *Anätomische Beschreibung des menschlichen Augapfels.* Berlin

**1849.**

448. W. Bowman. *Lectures on the parts concerned in the operations on the ey
on the structure of the retina and the vitreous humour.* London.

**1854.**

449. A. Kölliker. *Mikroskopische Anatomie oder Gewebelehre des Menschen.* L
1854. Bd. II. S. 605.

Zusammenstellungen der gesammten Litteratur finden sich u. a. in den verschi
Jahresberichten; sowie in:

Gräfe-Sämisch. *Handbuch der gesammten Augenheilkunde.* Leipzig 1876 Bd. I. S. 14
264—264, 318—320, 327—328, 352—353, 451—457 und 477—479.

Schwalbe. *Lehrbuch der Anatomie der Sinnesorgane* Erlangen 1883.

---

# § 2.

# Sehnenhaut und Hornhaut. Dimensionen des Auges. Ophthalmometrie. Intraocularer Druck.

Wegen der speciell anatomischen Litteratur der Sehnenhaut und Hornhaut siehe § 1, i
sichtlich der Verschiedenheit der Hornhautkrümmung nach verschiedenen Richtungen ist auc
Litteratur in § 14, s zu beachten.

**1723.**

450. F. P. du Petit. *Mémoire sur les yeux gelés, dans lequel on détermine la gra
des chambres qui renferment l'humeur aqueuse.* Mém. de l'Acad. des scienc
Paris. S. 54.

**1725.**

451. F. P. du Petit. Mémoire de l'Acad. d. sc. de Paris. S. 48.

1726.

2. F. P. du Petit. *Mémoire sur plusieurs découvertes faites dans les yeux de l'homme, des animaux à quatre pieds etc.* Mém. de l'Acad. d. sc. de Paris. S 375.

1728.

3. F. P. du Petit. *Différentes manières de connoître la grandeur des chambres de l'humeur aqueuse dans les yeux de l'homme.* Mém. de l'Acad. d. sc. de Paris. S. 408.

1730.

4. F. P. du Petit. *Mémoire sur le cristallin de l'oeil de l'homme, des animaux à quatre pieds etc.* Mém. de l'Acad. d. Sciences. S. 4.

1738.

5. Jurin. *Essay upon distinct and indistinct vision.* S. 141 in Smith's Complete System of Optics

1739.

6. Helsham. *A Course of Lectures on Natural Philosophy.* London 1739.

1740.

7. Wintringham. *Experimental inquiry on some parts of the animal structure.* London 1740.

1801.

8. Th. Young. *On the mechanism of the eye.* Philos. Transact. S. 23.

1818.

9. D. W. Soemmering. *De oculorum hominis animaliumque sectione horizontali.* Göttingen 1818. S. 79*.

1819.

0. Chossat. *Sur la courbure des milieux réfringents de l'oeil chez le boeuf.* Ann. de chim. et phys. X.

1. D. Brewster. Edinburgh Philosoph. Journal. 1819. No. I. S. 47.

1823.

2. Purkinje. *De examine physiologico organi visus et systematis cutanei.* Vratislaviae.

1828.

3. G. R. Treviranus. *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge.* Bremen. 1828. Heft I. S. 20*. — Hier sind auch die Resultate der älteren Beobachter zusammengestellt.

1832.

4. C. Krause. *Bemerkungen uber den Bau und die Dimensionen des menschlichen Auges.* Meckel's Arch. f Anat. u. Physiol. Bd. VI. S 86*. (Beschreibung der Methode und Messungen an zwei Augen.) Auszug davon in Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 93*.

1836.

5. C. Krause. *Ueber die Gestalt und Dimensionen des Auges.* Poggd. Ann. Bd. XXXIX. S. 529* (Messungen an acht menschlichen Augen)

1840.

6. R. H. Kohlrausch. *Ueber die Messung des Radius der Vorderfläche der Hornhaut am lebenden menschlichen Auge.* Oken's Isis. Jahrg. 1840. S. 886*.

1841.

7. R. H. Kohlrausch. *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges.* Berlin. S. 16—93.

1846.

8. Senff. R. Wagner's Handwörterbuch d. Physiol. Bd. III. Abth. 1. Art.: Sehen. S. 271*.

1847.

9. E. Brücke. *Beschreibung des menschlichen Augapfels.* S. 4 u. 45*.

1855.

0. H. Helmholtz. *Ueber die Accommodation des Auges.* Graefe's Arch. f. Ophthalm I 2.) S. 3.

1856.

1. W. Zehender. *Anleitung zur Dioptrik des Auges.* Erlangen.

1857.

2. F Arlt. *Zur Anatomie des Auges.* Arch. f. Ophthalm. III. 2 S. 87.

1858.

3. Nunneley. *On the organs of vision.* London. S 129.

**1859.**

474. J. H. Knapp. *Die Krümmung der Hornhaut des menschlichen Auges.* Habilit.-Sc[hr.] Heidelberg. Arch. f. Ophthalm. VI. (2.) S. 1—52.

**1860.**

475. Meyerstein. *Beschreibung eines Ophthalmometers nach Helmholtz.* Pogg. An[n.] CXI. 415—425. Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. XI. 185—192.

**1861.**

476. v. Jäger. *Ueber die Einstellung des dioptrischen Apparates im menschlichen Au[ge].* Wien.

**1863.**

477. F. C. Donders. *Ueber einen Spannungsmesser des Auges.* (*Ophthalmotonometer*) Graefe's Arch. IX. (2.) S. 215.

**1864.**

478. R. Schelske. *Ueber das Verhältniß des intraocularen Drucks zur Hornhautkrümm[ung].* Arch. f. Ophthalm. X. 2. S. 1—46.

**1865.**

479. H. Dor. *Ueber ein verbessertes Tonometer.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 35[...]
480. L. Mandelstamm. *Zur Ophthalmometrie.* Arch. f. Ophthalm. XI. 2. S. 259.
481. B. Rosow. *Zur Ophthalmometrie.* Arch. f. Ophthalm. XI. 2. S. 129.

**1867.**

482. A. Weber. *Einige Worte über Tonometrie.* Graefe's Arch. XIII. S. 201.

**1868.**

483. E. Adamück. *Noch einige Bemerkungen über den Intraoculardruck.* Klin. Monatsb[l.] f. Augenheilkde. S. 386.
484. H. Dor. *Ueber Ophthalmotonometrie.* Graefe's Arch. XIV. (1.) S. 13. — Comp[t.] Rend. du Congr. d'Ophthalm. Paris.

**1869.**

485. H. Gerold. *Ophthalmologische Optik.* Wien.
486. L. Mauthner. *Ueber den Winkel α.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. VII. S. 4[...] Wien. med. Presse. No. 34—37.
487. A. J. W. Monnik. *Tonometers and Tonometrie.* Verslag v. het Ned. Gasth. voo[r] ooglijders. No. X. S. 55.
488. Strawbridge. *Ophthalmometrische Messungen.* Sitzgs.-Ber. d. ophthalm. Ge[s.] Klin. Mon.-Bl. S. 480.
489. Reuss und Woinow. *Ophthalmometrische Studien.* Wien.
490. Woinow. *Ueber den Winkel α.* Klin. Monatsbl. VII. S. 482.
491. — *Neuer Apparat zu ophthalmometrischen Messungen.* Med. C. Bl. 186[9.] S. 497—498.

**1870.**

492. F. Holmgren. *Om ophthalmometran.* (*Ueber Ophthalmometer*). Upsala Läkaref. Förh. VI. S. 169—208.
493. A. J. W. Monnik. *Een nieuwe tonometer en zyn gebruik.* Ned. Arch. voor Genees- en Natuurk. V. S. 66. — Onderz., gedaan in het Physiol. Labor. de[r] Utrechtsche Hoogeschool. III. S. 20.
494. — *Ein neues Tonometer und sein Gebrauch.* Graefe's Arch. XVI. 1. S. 49.
495. M. Woinow. *Ueber Ophthalmometrie.* (Russisch.) Milit. Med. Zeitschr. St. Peter[s]burg.
496. — *Weitere Beiträge zur Kenntniß des Winkels α.* Arch. f. Ophthalm. XVI. 1. S. 225.

**1871.**

497. F. Holmgren. *En ophthalmometer.* (*Ein Ophthalmometer.*) Upsala Läkaref. Förh. VII. S. 171—172.
498. E. Pflüger. *Beiträge zur Ophthalmotonometrie.* Diss. Bern.
499. Woinow. *Ophthalmometrie.* Wien.
500. — *Analyse critique de la méthode ophthalmométrique de l'investigation des élém[ents] dioptriques de l'oeil.* Diss. inaug. Moscou.

**1872.**

501. A. Coccius. *Ophthalmometrie und Spannungsmessung am kranken Auge.* Leipzig 55 S.
502. K. Hallstén. *Lärobok i Ophthalmometrie.* Helsingfors. 1872.

13. Woinow. *Ophthalmometrische Messungen an Kinderaugen.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 280.

1873.

14. C. L. Feroe. *Ein neues Instrument zur Bestimmung des Durchmessers der Hornhautbasis und der Pupillenenge.* Leipzig.
15. A. v. Reuss. *Ophthalmometrische Messungen bei Keratoconus.* Wiener Med. Presse.

1874.

16. Bauer. *Ueber den scheinbaren Ort eines in einem dichteren durchsichtigen Medium befindlichen, sowie eines durch eine sogenannte planparallele Platte beobachteten Lichtpunktes.* Pogg. Ann. Bd. 153. S. 572
17. Hirschberg. *Zur ophthalmometrischen Rechnung (Ableitung der Grundformel für den Krümmungsradius eines beliebigen Ellipsenpunktes).* Arch. f. Augen- und Ohrenheilkde. III. 2. S. 160.
18. M. Reich. *Resultate einiger ophthalmometrischer und mikrooptometrischer Messungen.* Arch. f. Ophthalm. XX. 1.; S. 207.
19. Snellen und Landolt. *Ophtalmometrie* in Graefe-Sämisch, Handb. d. ges. Augenheilkde. Bd. III. S. 204.

1875.

20. Monnich. *Untersuchungen über die scheinbare Ortsveränderung eines leuchtenden Punktes durch ein von zwei parallelen Ebenen begrenztes lichtbrechendes Medium.* Rostock.

1876.

21. O. E. Shakespeare. *Description of a new ophthalmoscope and ophthalmometer.* Americ. Journ. of med. Sc. Bd. 141. S. 45.

1877.

22. E. Landolt. *Ophthalmometer* Centralbl. f. prakt. Augenhlkde. I. S. 233.
23. W. Roder. *Ueber Kapseldurchschneidungen und dadurch bedingte Krummungsveränderungen der menschlichen Hornhaut.* Arch. f. Ophthalm. XXIII. 4. S. 29—56.

1878.

24. J. G. Ditlevsen *Die Nerven der Hornhaut.* Dänisch.) Nord. med. Arch. X. No. 5.
25. E. Landolt. *L'ophthalmomètre.* Compt. Rend. et mém. du congr. intern. de Genève. S. 772.

1880.

26. M. Blix. *Oftalmometriska Studier I.* Acad. Afh. Upsala. XVI. 6. S. 349—420.
27. E. v. Fleischl. *Ueber eine optische Eigenschaft der Cornea.* Wien. Ber. Bd. 82. Abth. 3.
28. E. Javal. *Ophthalmometer.* Ann. di Ottalm. IX. 3 4. S. 372. Ann. univ. di med. e chir. Parte rivista. Vol. 254. S 353
29. Loring. *The Keratometer.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc XVI. ann. meet. S. 136—141. Centralbl. f. prakt. Augenhlkde. IV. S. 349.
30. A. Placido. *Nouvel instrument pour la recherche rapide des irrégularités de courbure de la cornée: l'astigmatoscope explorateur.* Period. de Oftalm. prat., rev. bimens. Lissabon. Sept. Nov. 1880.
31. A. v. Reuss. *Ophthalmometrische Mittheilungen.* Arch f. Ophthalm. XXVI. 3. S. 1.
32. Sczelkow. *Zur Frage uber die Veranderungen der Hornhautkrummungen bei zunehmendem Alter.* Centralbl. f d. med. Wiss XVIII. No. 44. S. 819.

1881.

33. M. Blix. *Ophthalmometer.* Zeitschr. f. Instr. Kde. S. 381
34. E. Javal. *Mesure du rayon de courbure de la cornée* Séances de la soc de phys. S. 59.
35. Javal und Schiotz. *Un ophthalmometre pratique.* Transact. of the internat med. Congr. VIII session. London III. S. 30. Ann d Oculist. Bd. 86 S. 5—21.
36. A. v. Reuss. *Untersuchungen uber den Einfluß des Lebensalters auf die Krümmung der Hornhaut nebst einigen Bemerkungen uber die Dimensionen der Lidspalte.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. 1 S 27.
37. Schiotz. *Ophthalmometrie.* Dict. encycl. dirig. par Dechambre. XVI. 1. S. 75—82.

1882.

38. G. Albertotti. *Graduazione dell' oftalmometro di Helmholtz* Atti della R. Accad. delle Sc. di Tor. XVII.

529. M. Blix. *Nya bidrag till oftalmometricus utveckling.* Upsala Läkaref. Förh. XVII. S. 98.
530. Fraenkel. *Keratoscop.* Centralbl f. prakt. Aerzte. S. 89.
531. Gavarret. *Astigmatisme et ophthalmométrie.* Rev. Scientif. XXX. S. 74.
532. Hasner. *Ueber Dr. Placido's Keratoscop.* Prag. med. Wochenschr. S. 121.
533. Hirschberg. *Keratoscop.* Centralbl. f. prakt. Augenhlkde. S. 59.
534. E. Javal. *Contribution à l'ophthalmométrie.* Ann. d'Oculist. Bd. 87. S. 213.
535. — *Deuxième contribution à l'ophthalmométrie.* Ann. d'Ocul. Bd. 88. S. 33.
536. G. Mayerhausen. *Notiz zur klinischen Veranschaulichung des Winkels γ.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Jahrg. VI. S. 123.
537. F. R. Perez-Caballero. *La oftalmometrologia, sus procedimientos y aplicaciones.* Rev. esp. de oftalm. sif. etc. Madrid. I. S. 16, 129, 321.

1883.

538. Dörffel. *Das stabile Keratoscop.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 30.
539. Höltzke. *Experimentelle Untersuchungen über den Druck in der Augenkammer.* Arch. f. Ophthalm. XXIX. (2.) S. 1.
540. E. Javal. *Ophthalmomètre.* Bull. et mém. de la Soc. franç. d'Ophthalm. S. 31.
541. — *Troisième contribution à l'ophthalmométrie. Déscription de quelques images kératoscopiques.* Ann. d'Ocul. Bd. 89. S. 5.
542. — *Quatrième contribution à l'ophthalmométrie.* Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 105.
543. — *Sur l'ophthalmométrie. (Influence de la taille et de la race sur les dimensions de la cornée.)* Bull. de la soc. d'anthrop. 5 juill. S. 621.
544. A. König. *Das Ophthalmometer, seine Construction und seine Theorie.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. III. S. 153—158.
545. Landsberg. *The keratoscope.* Phil. Med. Times. VIII. S. 784.
546. Laqueur. *Ophthalmometrische Untersuchungen über Verhältnisse der Hornhautkrümmung im normalen Zustand und unter pathologischen Bedingungen.* Ber. d. XV. Vers. d. ophthalm. Ges. S. 17.
547. H. Schiötz. *Om nogle optiske Egenskaber ved Cornea.* Nord. med. Arch. XIV. No. 28.
548. Wecker und Masselon. *La kératoscopie clinique.* Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 111.

1884.

549. Hubert et J. M. Prouff. *Kératoscopie, nouveau kératoscope.* Rev. clin. d'ocul. Mai. S. 110.
550. E. Javal. *Variation de courbure de la cornée en synchronisme avec les pulsations cardiaques.* Progr. méd. No. 43.
551. — *Variations rythmiques de la courbure de la cornée.* Compt. Rend. Soc. de Biol. 18. Oct. S. 581.
552. Laqueur. *Ueber die Hornhautkrümmung im normalen Zustande und unter pathologischen Verhältnissen.* Graefe's Arch. Bd. 30. (1.) S. 99.
553. A. Leahy. *On keratoscopy as a means of diagnosing errors of refraction.* Indian med. Gaz. XIX. S 184.
554. F. R. Perez-Caballero. *La oftalmometrologia, sus procedimientos y aplicaciones.* Rev. esp. de oftalm. sif. etc. Madrid. VIII. S. 237.
555. J. M. Prouff. *De la sclérotoscopie.* Rev. d'ocul. de Sud-Ouest. Febr. 1884.
556. Uhthoff. *Ueber eine neue Methode, den Winkel α, resp. γ zu bestimmen.* Sitzgs.-Ber. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg.
557. Wecker und Masselon. *Kératoscopie clinique.* Paris. 1884.
558. — *L'arc kératoscopique, son emploi comme kératoconomètre, pupillomètre et strabomètre.* Rev. clin. d'ocul. S. 201.
559. — *La kératoconométrie.* Rev. clin. d'ocul. IV. S. 5.
560. — *La queratoscopia clinica.* Oftalm. pract. III. S. 25.
561. H. Westien. *Mittheilungen aus dem physiologischen Institut der Universität Rostock (über den Gang der Lichtstrahlen in der accommodirten und ruhenden Linse und durch die Ophthalmometerplatten).* Zeitschr. f. Instr.-Kkde. Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 217.

1885.

562. H. Aubert. *Nähert sich die Hornhautkrümmung am meisten der Ellipse?* Pflüger's Arch. XXXV. 597—621.
563. S. M. Burnett. *Ophthalmometry with the ophthalmometer of Javal and Schiötz.* Arch. of Ophthalm. XIV. No. 2/3. S. 169.

4. HOLTZKE. *Experimentelle Untersuchungen über den intraocularen Druck.* Verh. d. Physiol. Ges. zu Berlin, 22. Mai 1885.
5. E. JAVAL. *Mensuration de la courbure de la cornée.* Gaz. d. Hôp. S. 1011.
6. L. ISSEKUTS. *Ophthalmometrie-Tafeln.* Szemészet. S. 87.
7. PROUFF. *Kératoscope.* Arch. d'Ophthalm. S. 182.
8. — *Sclérotoscopie.* Arch. d'Ophthalm. 1885. S. 165.
9. SCHIOTZ. *Ophthalmometrische und optometrische Untersuchung von 969 Augen.* Arch. f. Augenheilkde. XVI. S. 37.

1886.

0. G. ALBERTOTTI. *Determinazione pratica dell'angolo α.* Rasseg. di sc. med. I. S. 253.
1. L BELLARMINOW. *Anwendung der graphischen Methode bei Untersuchung des intraocularen Drucks.* Pflüger's Arch. f d. ges. Physiol. Bd. 39. S. 449—472.
2. J. BOEDEKER. *Vergleichende Druckmessung in der vorderen Kammer und dem Glaskörper des Auges.*
3. BOURGEOIS und TSCHERNING. *Recherches sur les relations qui existent entre la courbure de la cornée, la circonférence de la tête et de la taille.* Ann. d'Ocul. Bd. 96. S. 203.
4. F. DENTI. *Nuovo cheratoscopio registratore semplicissimo.* Gazz. med. Ital. Lomb.
5. LEROY. *Sur l'ophthalmomètre de précision.* Ann. d'Ocul. Bd. 95. S. 209.
6. PR. SMITH. *A keratometer.* Ophthalm. Rev. S. 316.
7. M. TSCHERNING. *Ueber die Abhängigkeit zwischen der Krümmung der Cornea, der Korperhöhe und dem Umfang des Kopfes.* Kopenhagen. Hosp. tid. No. 48.
8. W. UHTHOFF. *Ueber eine neue Bestimmungsmethode des Winkels γ zwischen der Blicklinie und der durch den Hornhautmittelpunkt gehenden Senkrechten.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXIV. 304—309.
9. WEISS. *Ueber den Einfluſs der Spannung der Augenlider auf die Krümmung der Hornhaut und damit auf die Refraction des Auges.* Ber. d. Ophthalm. Ges. zu Heidelberg. 1886. S. 72.
0. W. ZEHENDER. *Eine binoculäre Cornealoupe.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 504.

1887.

1. L. BELLARMINOW. *Verbesserter Apparat zur graphischen Untersuchung des intraocularen Drucks und der Pupillenbewegung.* Ber. d. 19. Vers. d. ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 126. Ann. d'Ocul. Bd. 97. S. 181.
2. CUIGNET. *Des images kératoscopiques.* Ann. d'Ocul. Bd. 97. S. 229. Und: Rec. d'Ophthalm. S. 262.
3. F. DENTI. *Nuovo cheratoscopio registratore semplicissimo.* Ann. di Ottalm. XV. 5/6. S. 588.
4. E. JAVAL. *Sur l'ophthalmométrie pratique.* Soc. franç.
5. M. TSCHERNING. *Ophthalmométrie.* Soc. franç. d'Ophthalm. S. 199.
6. — *Contribution à l'ophthalmométrie pratique.* Soc. franç. d'ophthalm. S. 11.
7. H. WESTIEN. *Ophthalmometerplattenmodell nach Prof. Aubert* Zeitschr. f. Instrum.-Kde. VII. S. 52.
8. W. ZEHENDER. *Beschreibung der binocularen Cornealoupe.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 496.

1888.

9. L. BELLARMINOW. *Vervollkommneter Apparat für die graphische Untersuchung des intraocularen Druckes und der Pupillenbewegung.* (Russisch.) Westnik. ophthalm. V. 2. S. 142.
0. M. S. BURNETT. *An analysis of 576 cases of the refraction of healthy human corneae, examined with the ophthalmometer of Javal and Schiotz.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 199.
1. E. DESJARDINS. *De la kératoscopie comme moyen de diagnostic dans l'astigmatisme.* Gaz. méd. de Montréal. II. S. 214.
2. W. EISSEN. *Hornhautkrümmung bei erhöhtem intraocularem Druck.* Inaug.-Diss. Bern. 1888 — Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. 2. S. 1.
3. E. JAVAL. *Ueber Ophthalmometrie.* Ber. d. 7. internat. Ophthalm.-Congr. zu Heidelberg. S. 25.
4. — *Ophthalmometer.* Rec. d'Ophthalm. S. 315.
5. — *Un perfectionnement à l'ophthalmomètre.* Compt. Rend. de la soc. franç. d'ophthalm. S. 237.

596. C. J. A. Leroy. *Nouvel ophthalmomètre.* Arch. d'Ophthalm.
597. — *Sur la forme de la cornée humaine normale.* Compt. Rend. Bd. :
598. A. Leroy und R. Dubois. *Nouvel ophthalmomètre.* Rev. gén. d'Ophtl
Ann. d'Oculist. Bd. 99. S. 123.
599. G. Secondi. *Variabilita dell'angolo α nelle diverse direzioni dello sgua*
d. R. Accad. di med. di Torino. S. 494.
600. Tscherning. *Ophthalmometer.* Rec. d'Ophthalm. S. 315.

**1889.**

601. G. Albertotti. *Considerazioni riguardanti l'oftalmometro di Leroy*
Rasseg. di sc. med. S. 382.
602. H. Ferrer. *Javal'sches Ophthalmometer.* Ber. üb. d. 20. Vers. d. op
in Heidelberg. S. 170.
603. C. J. A. Leroy. *Quelques perfectionnements de l'ophthalmomètre Leroy*
Rev. gén. d'Ophthalm. VIII. S. 111.
604. — *Recherches sur l'influence exercée par les muscles de l'oeil sur la fo*
*de la cornée humaine.* Arch. de physiol. janv.
605. E. Meyer. *De la forme de l'hémisphère antérieur de l'oeil déterminée par la*
*des courbures de la cornée et de la sclérotique.* Rev. gén. d'Ophthalm.
606. Schneller. *Ueber Formveränderungen des Auges durch Muskeldruck*
Arch. f. Ophthalm. XXXV. (1.) S. 76—112.
607. P. Smith. *On the size of the cornea in relation to age, sex, refraction*
*glaucoma.* Transact. of the Ophthalm. Soc. X. 1889/90. S. 68. Ophthalm.

**1890.**

608. Bajardi. *Alcune osservazioni sulla forma della cornea.* XII. Con
Associazione Oftalmologica Ital. Pisa. 1890. Ann. di Ottalm. XIX.
609. C. du Bois-Reymond. *Keratoskop zur Messung des Hornhaut-As*
Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XIV. S. 257—259.
610. S. Boss. *Ueber Veränderungen des Hornhautradius unter dem Einflusse*
*Homatropin, Physostigmin und Cocain.* Dissert. Strafsburg 1890.
611. E. Meyer. *Hémisphère antérieur de l'œil déterminé par la mensuratio*
*bures de la cornée et de la sclérotique.* Ann. d'Ocul. Bd. 103. S. 32.
612. Pfister u. Streit. *Ophthalmometer nach Javal und Schiötz in*
*Construction ausgeführt.* Bern. 1890.
613. Pflüger. *Ophthalmometer und Oculo-Curvimeter.* Corresp.-Bl. f. Schv
XX.
614. J. Roth. *Ueber Astigmatismus und Ophthalmometrie.* Dissert. Zürich.
Bergmann. 1890. 67 S.
615. Schmidt-Rimpler. *Demonstration der Westien-Zehender'schen*
*Cornealoupe.* Berl. klin. Wochenschr. No. 3.
616. Scimeni. *Sulla modificazione della curvatura della cornea in seguito a*
*di cataratta.* Ann. di Ottalm. XIX. S. 209.
617. Speakman. *Description of Javal's new ophthalmometer, model of 1*
ophth. New-York. XIX. S. 76.
618. D. E. Sulzer. *Méthode pour déterminer le pôle d'un ellipsoïde à trois a*
*par l'observation de ses images catoptriques.* Compt. Rend. Bd. 110. S.
619. Tscherning. *Une nouvelle méthode pour mesurer les rayons de cour*
*stallin.* Rév. gén. d'Ophth. S. 218.

**1891.**

620. H. Aubert. *Die Genauigkeit der Ophthalmometer-Messungen.* Pflüger's
S. 626—638.
621. P. Bajardi. *Alcune osservazioni sulla forma della cornea.* Ann. di Ottalm.
622. — *Eine Modification des Ophthalmometers zur gleichzeitigen Messun*
*Hauptmeridiane der Cornea.* Giorn. dell' Accad. di Med. di Torino.
623. Beccaria. *Ophthalmometrische Beobachtungen bei Gehirncompression.* Ann
Fasc. 1 et 2.
624. S. M. Burnett. *Contributions to keratometry.* Ophth. Rev. Aug. u.
(Americ. med. Assoc. Section of Ophthalm. Jahrescongrefs zu Washington
625. E. Javal. *Mémoires d'ophthalmométrie.* Paris. G. Masson. 626 S.
626. F. Ostwalt. *Quelques remarques sur l'ophthalmomètre de Javal et*
Rev. gén. d'Ophthalm. 1891. S. 100.

7. J. B. Story. *The ophthalmometer in practice.* Ophthalm. Rev. No. 117. S. 193.
8. D. E. Sulzer. *La forme de la cornée et son influence sur la vision.* Arch. d'Ophthalm. Tome XI. S. 419—435.
9. — *La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision.* Progr. méd. No. 19—20. — Rec. d'ophthalm. No. 5. S. 282.
0. Tscherning. *Théorie mathématique de l'ophthalmométrie de la cornée.* Enthalten in Javal, Mém. d'ophthalmométrie. S. 573—618.

**1892.**

1. E. J. Bissell. *Observations with Javals ophthalmometre.* Journ. of Ophthalm. Oct. 1892.
2. A. E. Davis. *Javals ophthalmometre and atropine in determining errors of refraction with an incidental notice on eye strain and graduated tenotomie.* New York med. Journ. Vol. LVI. No. 15. S. 396.
3. H. Derby. *Recent added facilities for the examination of the eye. I. The Ophthalmometer of Javal-Schiötz. II. The Phorometer of Stevens. III. The Arc-Light adapted for the Ophthalmoscope.* Boston med. and surg. Journ. of June 9. 1892.
4. F. B. Eaton. *Some practical uses of the ophthalmometer of Javal-Schiötz.* Med. Rec. 12 Nov.
5. R. Greeff. *Studien über die Plastik des menschlichen Auges am Lebenden und an den Bildwerken der Antike.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. Jahrg. 1892. S. 113—136.
6. Highet. *L'ophthalmomètre de poche du Dr. Reid.* Arch. d'Ophthalm. XII. S. 174—176.
7. Maklakoff. *Contribution à l'ophthalmotonométrie.* Arch. d'ophthalm. XII. S. 321 bis 349.
8. Sulzer. *Der Einfluſs des Winkels α auf die Resultate der Ophthalmometrie und dessen Bestimmung vermittelst des Ophthalmometers.* Verh. des X. internat. Congr. Bd. IV. S. 138.
9. — *La forme de la cornée et son influence sur la vision.* Paris. Steinheil. 1892.
0. — *La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision.* 2. Partie: *Influence de la cornée sur la vision.* Arch. d'Ophthalm. XII. S 32—50.
1. C. M. Thomas. *A few observations on the use of Javals ophthalmometre.* Journ. of ophthalm. Oct. 1892.
2. W Waldeyer. *Ueber die Plastik des menschlichen Auges am Lebenden und an den Bildwerken der Kunst.* Sitzgs.-Ber. d. Berl. Acad. S. 45—46.
3. J. H. Woodward. *The Ophthalmometer of Javal and Schiötz and the diagnosis of astigmatism.* New York med. Journ. Vol. LVI. No. 3. S. 66.

**1893.**

4. Beccaria. *Aenderung der Hornhautkrümmung bei Vortreibung des Augapfels nach vorn.* Ann. di Ottalm. XXII. 1.
5. H. Bertin-Sans. *Les variations que subissent sous l'influence de l'âge les rayons de courbure du cristallin.* Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 240—244.
6 B. Burbo. *Recherches sur la relation entre la courbure de la sclérotique et celle de la cornée dans le méridien horizontal.* Diss. Clermont. 1893. — Rev. gén. d'Ophthalm. XII. S. 49—65.
7. S M. Burnett. *Ophthalmometry in the United States and its championship.* Americ. Journ. of Ophthalm. Vol. X. S. 5.
8. H. C Chapman & A. P. Brubaker. *The radius of curvatures of the cornea.* Proc. Acad. of Nat Sc. Philad. Sept. 26.
9. J. H. Claiborne *A hand ophthalmometer and retinoscope combined.* New York med. Journ Vol. LVIII. S 378.
0. Eriksen. *Hornhinde maalinger Messung der Hornhaut.* Diss. Aarhus. 1893. -- Nord. med. Arch. XXV. 4
1. D. W. Hunter. *The Ophthalmometer.* New York. med. Journ. Vol. LVII. S. 49.
2. L. J. Lautenbach. *A few thoughts about ophthalmometry, as to what the Javal instrument will do and what it will not do.* Americ. Journ. of Ophthalm. Vol. X. No. 9. S. 278. -- Ophthalm. Rec. Vol. III. S. 201.
3. — *The value of ophthalmometer in the determination of the axis and the amount of astigmatism.* New York med. Journ. No. 766. S. 156.

654. Th. Reid. *On a portable ophthalmometer.* Proc. of the Roy. Soc. LIII. S.
655. F. Schanz. *Ein Hornhautmikroskop.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 99—103.
656. C. Weiland. *History and principles of keratometry; its value and limi the correction of astigmatism.* Arch. of Ophthalm. Bd. XXII. S. 37—61.

**1894.**

657. G. Ahlström. *Oftalmometriska Studier.* (*Ophthalmometrische Studien.*) G Läkaresällskaps Forhandlingar. 1894. Heft 1.
658. Wm. S. Dennet. *Illumination of the Javal and Schiötz Ophthalmomet* York eye and ear infirmary Reports. II. S. 27.
659. L. Ferry. *Determinazione dell' angolo α col perimetro.* Ann. di Ottalm. S. 175.
660. G. W. Grove. *Die Graduierung des Bogens am Javal'schen Ophthalmom die Graduierung auf einem geraden Arm.* Ann. of Ophthalm. a. Otol.
661. Moauro. *Réfractométrie et Ophthalmométrie.* Ann. d'Oculist. CXI. S. 350
662. Nicati. *Le problème de la tension intra-oculaire et ses applications.* B d'Ophthalm. XIII. S. 165—167.
663. F. Ostwalt. *Ophthalmotonometrische Studie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. S. 22—49.
664. P. Sgrosso. *Communications cliniques d'optométrie, ophthalmométrie, skias* Arch. di Ottalm. II. 1/2.

---

## § 3.

# Die Uvea.

Wegen der speciell anatomischen Litteratur siehe auch § 1, s.

## 1. Anatomie und Physiologie der Iris und des Ciliarkörpers Das Tapetum lucidum.

**1728.**

665. F. P. du Petit. *Différentes manières de connoître la grandeur des cham l'humeur aqueuse dans les yeux de l'homme.* Mém. de l'Acad. Roy. des S. 206 u. 289.

**1821.**

666. E. H. Weber. *Tractatus de motu iridis.* Lipsiae.

**1850.**

667. C. Stellwag von Carion. Zeitschr. d. Wien. Aerzte. 3. S. 125.

**1851.**

668. E. H. Weber. *Summa doctrinae de motu iridis.* Lipsiae.

**1852.**

669. A. Cramer in Tijdschrift der Nederl. Maatschappij tot bevord. der Gene 1852. Jan.

**1853.**

670. A. Cramer. *Het Accommodatievermogen der Oogen.* Haarlem. bl. 61.*

**1855.**

671. J. Budge. *Ueber die Bewegung der Iris.* Braunschweig. S. 5—10. (Giebt a ältere Litteratur der Streitfrage.)
672. H. Helmholtz. *Ueber die Accommodation des Auges.* v. Graefe's Arch. f. Op Bd. I. Abth. 2. S. 30.
673. A. Kussmaul. *Untersuchungen über den Einfluſs, welchen die Blutströmung Bewegung der Iris und auf andere Theile des Kopfes ausübt.* Würzburg.

74. van Reeken. *Ontleedkundig onderzoek van den toestel voor accommodatie van het Oog.* Onderzoekingen gedaan in het Physiol. Laborat. der Utrechtsche Hoogeschool. Jaar VII. 248—586.
75. H. Rouget Gaz. méd. No. 50.

**1856.**

76. H. Müller. *Réclamation de priorité.* Compt. Rend. XLII. S. 1218—1219.
77. C. Rouget. *Recherches anatomiques et physiologiques sur les appareils érectiles. Appareil de l'adaptation de l'oeuil.* Compt. Rend. XLII. S. 937—941. — Inst. S. 193—194. — Cosmos. VIII. S. 559—560.
78. — *Réponse à une réclamation de priorité adressée par M. Müller.* Compt. Rend. XLII. S. 1255—1256. — Inst. S. 245. — Cosmos. IX. 9.

**1857.**

79. F. Arlt. *Zur Anatomie des Auges.* Arch. f. Ophthalm. III. (2.)
80. H. Müller. *Ueber einen ringförmigen Muskel am Ciliarkörper.* Arch. f. Ophthalm. III. (1.)

**1858.**

81. H. Müller. *Einige Bemerkungen über die Binnenmuskeln des Auges.* Arch. f. Ophthalm. IV. (2.) S. 277—285.

**1860.**

82. W. Henke. *Der Mechanismus der Accommodation für Nähe und Ferne.* Arch. f. Ophthalm. VI. (2.) S. 53—72.

**1863.**

83. O. Becker. *Lage und Function der Ciliarfortsätze im lebenden Menschenauge.* Wien. med. Jahrb. S. 159.

**1865.**

84. F. C. Donders. *Reflexie-beweging der beide pupillen bij het invallen von licht aan éene zijde.* Nederl. Arch. voor Gen.-en Natuurk. II.
85. A. Grünhagen. *Ueber Irisbewegung.* Virchow's Arch. XXX. S. 481—524.
86. — *Bemerkungen, die Bewegung der Iris betreffend.* Berl. klin. Wochenschr. No. 23 u. 24.
87. Fr. Holmgren. *Untersuchung, betreffend den Bewegungsmechanismus der Iris mit Hilfe von Kalabar und Atropin.* Drei Abhandlungen. Upsala Läkaref. Förh. I. S. 64—76. S. 160—177. II. S. 148—160. (1865—1866.)

**1866.**

88. F. C. Donders u. D. Doijer. *Reflexie-beweging der beide pupillen, bij het invallen von licht aan éene zijde.* Amsterdam.
89. A. Grünhagen. *Ueber das Vorkommen eines Dilatator pupillae in der Iris des Menschen und der Säugethiere.* Zeitschr. f. rat. Med. Bd. 28. S. 176.

**1867.**

90. F. E. Schulze. *Der Ciliarmuskel des Menschen.* Arch. f. mikr. Anat. 1867. Bd. III. (4.) S. 477.

**1868.**

91. A. Eulenburg u. H. Schmidt. *Untersuchungen über den Einfluſs bestimmter Galvanisationsweisen auf die Pupille etc* Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 321. 338.
92. M. Schiff. *Sui movimenti dell' iride etc.* Giorn. d. sc. nat. e. econ. Palermo. IV. S. 40.
93. S. Schur. *Einfluſs des Lichts, der Wärme und einiger anderer Agentien auf die Weite der Pupille.* Zeitschr. f. rat. Med. XXXI. (3. S. 373.

**1869.**

94. F. Arlt jun. *Beitrag zur Kenntniſs der Zeitverhältnisse bei den Bewegungen der Iris.* Arch. f. Ophthalm. XV. (1.) S. 294—301.
95. J. Dogiel. *Ueber den M. dilatator pupillae bei Säugethieren, Menschen und Vogeln.* Arch. f. mikrosk. Anat. VI. (1.) S. 89.
96. G. Engelhardt. *Beiträge zur Lehre von den Bewegungen der Iris.* Leipzig. (Unters. a. d. physiol. Labor. zu Würzburg. 4. Heft. S. 297.)
97. A. Grünhagen. *Ueber den vermeintlichen Dilatator pupillae der Kaninchen-Iris.* Zeitschr. f. rat. Med. XXXVI 1. S. 40.
98. A. Iwanoff u. A. Rollett. *Bemerkungen zur Anatomie des Iris-Anheftung und des Annulus ciliaris.* Arch. f. Ophthalm XV. Abth. 1. S. 17.
99. H. Schoeler. *Experimentelle Beiträge zur Kenntniſs der Irisbewegung.* Dissert. Dorpat.

**1870.**

700. A. Grünhagen. *Zur Irisbewegung.* Pflüger's Arch. f. Phys. III. S. 440.

**1874.**

701. P. Franciel. *Sur les mouvements de l'iris.* Paris.
702. A. Schlesinger. *Eine Innervationserscheinung der Iris.* Pest. med.-chir. X. S. 13—14.
703. A. Vulpian. *Note relative à l'influence de l'exstirpation du ganglion cervi périeur sur les mouvements de l'iris.* Arch. de physiol. S. 177.

**1875.**

704. Albini. *Rapporti fra i movimenti dell' iride e la funzione visiva.* Rendic. XIV. No. 12. S. 216.
705. Debovzy. *Considérations sur les mouvements de l'iris.* Paris. Delahaye. 187

**1876.**

706. Fr. Holmgren. *Untersuchung über die Irisbewegungen.* Upsala Läkaref. Fö S. 476—481.

**1877.**

707. S. Rembold. *Ueber Pupillarbewegung.* Tübingen.

**1878.**

708. Argyropulos. *Beiträge zur Physiologie der Pupillarnerven.* Inaug.-I Giefsen. 1878.
709. H. F. Formad. *Die Vertheilung der Nerven in der Iris.* Americ. Journ. o Sc. Jan. 1878.
710. Hurwitz. *Ueber Reflexdilatation der Pupille.* Inaug.-Diss. Erlangen. 1878.
711. A. Meyer. *Ueber Nervenendigungen der Iris.* Centralbl. f. med. Wiss. 1878.
712. Nachtel. *Dilatation de la pupille.* Progr. méd. No. 24.
713. Picard *Ueber die Bewegungen der Pupille.* Gaz. des Hôp. No. 93. Gaz. he S. 314.
714. E. Rählmann u. L. Witkowski. *Ueber das Verhalten der Pupillen im Schlaf Bemerkungen zur Innervation der Iris.* du Bois' Arch. f. Physiol. Jahrg. 18

**1879.**

715. F. J. C. Ackroyd. *Ueber Irisbewegung.* Journ. of physiol. XIII. S. 146.
716. E. Gysi. *Beiträge zur Physiologie der Iris.* Berner Diss. Aarau. 39 S.

**1880.**

717. Heddaeus. *Klinische Studien über die Beziehungen zwischen Pupillarreaktion Sehvermögen.* Inaug.-Diss. Berlin. 1880.
718. B. Luchsinger. *Ueber den Einflufs des Lichtes und der Wärme auf die Iris Kaltblüter.* Mitth. d. naturf. Ges. Bern. Abth. 102.

**1881.**

719. F. Franck. *Recherches sur les nerfs dilatateurs de la pupille.* Trav. du la de Marey. S. 1.
720. G. Jorissenne. *Les mouvements de l'iris chez l'homme à l'état physiolo* Paris. Delahaye. Ann. et Bull. de la soc. de méd. de Gand. Juli u. Aug. 1881
721. J. Leeser. *Beitrag zur Physiologie der Pupillarbewegung.* Halle.
722. — *Die Pupillarbewegung in physiologischer und pathologischer Beziehung.* baden. 124 S.
723. P. Lutze. *Warum mufs vom physiologischen Standpunkte aus ein musculu tator pupillae gefordert werden?* Diss. Leipzig. 20 S.
724. Moriggia. *Sul' mecanismo dei movimenti dell' iride.* R. Accad. dei Lincei IV. S. 219—224.
725. M. v. Vintschgau. *Zeitbestimmungen der Bewegungen der eigenen Iris.* Pfl Arch. Bd. 26. S. 324.

**1882.**

726. Brailey. *On some points in the anatomy of the ciliary body.* Brit. med. J II. S. 577.
727. O. Eversbusch. *Vergleichende Studien über den feineren Bau der Iris.* Zeit f. vergl. Augenheilkde. S. 49.
728. Féré. *Mouvements de la pupille.* Journ. de Thérap. No. 2. — Progr. méd (81.) 53. — Soc. de Biol. 17. Dec. 1881.
729. B. Luchsinger. *Ueber die Wirkung von Kälte und Wärme auf die Iris der Fr* Mitth. d. naturf. Ges. in Bern. 1882. S. 74.

0. Moriggia. *Die Bewegungen der Iris und ihr Mechanismus.* Moleschott's Unters. z. Naturl. d. Menschen u. d. Thiere. XIII. 1. S. 1.
1. H. Munk. *Ueber das Tapetum der Säugethiere.* Verh. d. physiol. Ges. zu Berlin. 1882/83. S. 2.
2. Parinaud. *De l'exagération des réflexes pupillaires.* Gaz. des Hôp. Rec. d'Ophth. S. 688.
3. Parrot. *Sur un phénomène pupillaire observé dans quelques états pathologiques de la première enfance.* Rev. de méd. S. 809.
4. M. Preusse. *Ueber das Tapetum des Haussäugethiere.* Arch. f. Thierheilkde. VIII. S. 264—280.
5. Schadow. *Beiträge zur Physiologie der Irisbewegung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXVIII. (3.) S. 183.
6. M. v. Vintschgau. *Weitere Beobachtungen über die Bewegung der eigenen Iris.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXVII. S. 184—197.

**1883.**

7. W. v. Bechterew. *Ueber den Verlauf der die Pupille verengenden Nervenfasern und über die Localisation eines Centrums für die Iris und Contraction der Augenmuskeln.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXI. S. 60.
8. A. Grünhagen. *Die Nerven der Ciliarfortsätze des Kaninchens.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXII. S. 369.
9. Mercanti. *Recherches sur le muscle ciliaire des reptiles.* Arch. Ital. de Biol. IV. S. 197.
0. P. J. Möbius. *Notiz über das Verhalten der Pupille bei alten Leuten.* Centralbl. f. Nervenheilkde. No. 15.
1. Moeli. *Bemerkungen zur Untersuchung der Pupillenreaction.* Berl. klin. Wochenschr. No. 6.
2. H. Munk. *Ueber das Tapetum der Säugethiere.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. S. 125.

**1884.**

3. A. Grünhagen u. R. Cohn. *Ueber den Ursprung der pupillen-dilatirenden Nerven.* Centralbl. f. Augenheilkde. S. 165.
4. S. Mayer u. F. Pribram. *Studien über die Pupille.* Prag. Zeitschr. f. Heilkde. V. S. 15.
5. Sheglinsky. *Die Bewegungen der Pupille.* Diss. Kasan.

**1885.**

6. J. Aitken. *The pupil of the Eyes during Emotion.* Nat. XXXI. 553.
7. L. Bellarminow. *Anwendung der graphischen Methode bei Untersuchung der Pupillenbewegung. Photochoreograph.* Pflüger's Arch. Bd. 37. S. 107—122.
8. A. Bertillon. *La couleur de l'iris.* Rev. scientif. XXXVI. S. 65.
9. F. Boé. *Quelques recherches sur la couche pigmentaire de l'iris et sur le soi-disant muscle dilatateur de la pupille.* Arch. d'ophth. V. S. 311.
0. Ferrier. *Dilatatornerves of the iris.* Proc. of the Roy. Soc. XXXV. S. 229.
1. J. Jegorow. *Wirkung der langen Ciliarnerven auf die Erweiterung der Pupille.* Gaz. lek. Warszawa. (2.) V. S. 409. Diss. Kasan.
2. Jessop. *Pupillary movements associated with extrinsic movements.* Ophth. rev. Lancet. II. S. 996.
3. P. Kaschanowski. *Einwirkung der Cervicalportion des Nervus sympathicus auf die Pupille.* Med. pribav. k. morsk. sborniku. St. Petersburg. Aug.-Sept. S. 119, 161.
4. N. Kovalewsky. *Influence du système nerveux sur la dilatation de la pupille.* Arch. slav. de Biol. I. S. 92, 575.
5. Schmeichler. *Klinische Pupillenstudien.* Wien. med. Wochenschr. S. 1179, 1209, 1246, 1275.
6. S. Wilks. *The pupil of the eyes during emotion.* Nat. XXXI. 458.
7. N. Zeglinski. *Experimentelle Untersuchung über die Irisbewegung.* du Bois' Arch. Jahrg. 1885. 1—37.

**1886.**

8. W. v. Bechterew. *Rétrécissement réflexe de la pupille par la lumière.* Arch. slaw. de biol. I. S. 356.
9. J. Dogiel. *Neue Untersuchungen über den pupillenerweiternden Muskel der Säugethiere und Vogel.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXVII. S. 403.

760. A. Dostoewski. *Zur Frage über die Existenz eines pupillenerweiternden* : *beim Menschen und Säugethieren.* (Russisch.) Wratsch. S. 641.
761. Haab. *Neuer Pupillarreflex.* Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzte. No. 6.
762. E. Heddaeus. *Die Pupillarreaktion auf Licht, ihre Prüfung, Messung und k* *Bedeutung.* Wiesbaden. Bergmann. 1886. 79 S.
763. J. Jegorow. *Ueber den Einfluſs der langen Ciliarnerven auf die Erweiteru* *Pupille.* du Bois' Arch. f. Physiol. S. 149.
764. H. Lee. *On the tapetum lucidum.* Lancet. I. S. 203.
765. Netter. *Sur les mouvements de l'iris, dits volontaires.* Rev. méd. de l'est. XVIII. S. 55.
766. J. Pzybylski. *Nerves dilatateurs de la pupille chez le chat.* Arch. slaw. c S. 400.
767. — *Zur Frage über die pupillenerweiternden Nerven bei der Katze.* Diss. Wa
768. K. Schipiloff. *Ueber den Einfluſs der Nerven auf die Erweiterung der* : Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXVIII. S. 219.

**1887.**

769. Dogiel. *Neue Untersuchungen über den pupillenerweiternden Muskel bei* *thieren und Vögeln.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXVI. S. 4.
770. M. Gumo. *Pupillary contraction in lateral movements.* Ophthalm. Rev. S. 85.
771. J. Jegorow. *Ueber den Einfluſs des Sympathicus auf die Vogelpupille.* Pf Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 41. S. 326—349.
772. Iwanow. *Zur Frage von der Ungleichheit der Pupillen bei gesunden* : Wratsch. No. 7. — Centr.-Bl. f. klin. Med. S. 614.
773. H. Lee. *On the tapetum lucidum and the functions of the fourth pair of* London. J. u. A. Churchill. 1887. 15 S.
774. N. Mislawski. *De l'influence de l'écorce grise sur la dilatation de la pupille.* de Biol. No. 13.
775. Salgo. *Die unregelmäſsige Reaction der Pupillen.* Wien. med. Woche No. 45 u. 46.
776. Steinach. *Vergleichend-physiologische Studien über Pupillarreaction.* Cen f. Physiol. S. 105.
777. G. Zwjaginzew. *Ueber normale relative Weite der Pupillen bei gesunden* 1 (Russisch.) Russkaja Medizina No. 28.

**1888.**

778. Abadie. *Les mouvements de la pupille.* Réc. d'Ophthalm. S. 307.
779. A. Chauveau. *Sur le mécanisme des mouvements de l'iris.* Journ. de l'anat. et pl XXIV. S. 193.
780. Heddaeus. *Ueber Pupillarreaction.* Ber. d. 7. internat. Ophthalm.-Cong Heidelberg. S. 456.
781. — *Reflexempfindlichkeit, Reflextaubheit und reflectorische Pupillenstarre.* Berl Wochenschr. No. 17.
782. — *Eine Bemerkung zur Pupillarreaction.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S
783. G. Iorisenne. *Remarque sur les mouvements de l'iris et sur la dynamogénie* *rielle.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. No. 19.
784. H. Lee. *On the use of the tapetum lucidum.* Med. Press and Circ. London. XLVI. S. 489.
785. Picqué. *Des mouvements de la pupille.* Arch. d'Ophthalm. VIII. S. 249.

**1889.**

786. Picqué. *Étude expérimentale sur les mouvements de la pupille.* Arch. d'Opht IX. S. 469.
787. A. Raggi. *Osservazioni di un caso eccezionale non ancora descritto di mov* *sinergico irideo.* Rend. Lomb. (2.) XXII. S. 798.

**1890.**

788. R. v. Garnier. *Ueber Veränderungen des Musculus ciliaris unter dem Ein* *des Wachsthums und der Refraction.* Wjestnik Oftalm. März-April. — Petersb Wochenschr.

**1891.**

789. R. Hilbert. *Pupillenbeobachtungen mittelst der subjectiven Methode.* Betz' Me bilien. 1891. Heft 5.

**1892.**

0. A. Grünhagen. *Ueber die Mechanik der Irisbewegung.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 53. S. 348—360.
1. J. N. Langley u. H. K. Anderson. *Dilatation of the pupil.* Proc. of the Physiol. Soc. Mai. 1892.
2. — *On the mechanism of the movements of the iris.* Journ. of Physiol. XIII. S. 513—553.
3. Ph. Limbourg. *Kritische und experimentelle Untersuchungen über die Irisbewegungen und über den Einfluſs von Giften auf dieselben, besonders des Cocain.* Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmakol. Bd. XXX. S. 93—125.
4. L. Littauer. *Du mouvement de l'iris.* Thèse de Paris. 1892.
5. E. Steinach. *I. Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie der Iris. — II. Mittheilung über die directe motorische Wirkung des Lichtes auf den Sphincter pupillae bei Amphibien und Fischen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 52. S. 495—525.

**1893.**

6. P. Bajardi. *Contribution à l'histologie comparée de l'iris.* Arch. Ital. de Biol. XIX. S. 210—213.
7. E. P. Braunstein. *Beitrag zum Studium der Innervation der Pupillenbewegungen.* (Russisch.) Charkow.
8. G. Durand. *Disposition et développement des muscles dans l'iris des oiseaux.* Journ. de l'Anat. et de la Physiol. XXIX. S. 604—636.
9. G. Retzius. *Zur Kenntniſs vom Bau der Iris.* Biol. Unters. (N. F.) V. No. 7.
0. F. Spalitta u. M. Consiglio. *Ricerche sopra nervi constrittori della pupilla.* Arch. d'Ottalm. I S. 19.
1. — *Recherches sur les nerfs constricteurs de la pupille.* Arch. Ital. de Biol. XX. S. 26—31.
2. Ziem. *Das Tapetum lucidum bei Durchleuchtung des Auges.* Zeitschr. f. Psychol. VI. S. 101—103.

**1894.**

3. E. P. Braunstein *Zur Lehre von der Innervation der Pupillenbewegung.* Wiesbaden. J. F. Bergmann. 1894. 142 S
4. J. Dogiel. *Die Betheiligung der Nerven an den Schwankungen in der Pupillenweite* Pflüger's Arch f. d. ges. Physiol. Bd. 56. S. 500—521.
5. Heddaeus. *Die centripetalen Pupillenfasern und ihre Function.* Festschr. z. Feier d. 50jähr. Jubil. d. Ver. d. Aerzte d. Reg.-Bez. Düsseldorf. S. 312—326.

## 2. Messung der Pupillenweite.

**1852.**

6. S. Stampfer. *Methode, den Durchmesser der Pupille sowohl bei Tage als bei Nacht am eigenen Auge zu messen.*

**1855.**

7. Dubrunfaut. *Note sur la vision.* Compt. Rend. Bd. 41. S. 1087.

**1864.**

8. F. Obernier. *Ueber ein einfaches Instrument, Pupillenunterschiede zu ermitteln.* Berlin

**1866.**

9. Houdin. *Iridoskope.* Intern. Obs. IX. S. 315. — Mondes. X. S. 587—589. — Compt. Rend. LXIII. S. 865—868.

**1869.**

0. F. C. Donders. *Periodiske veranderingen van de middellijn der pupillen, zonder wijzigingen van refractie of accommodatie.* Versl. Ned. Gasth. v. Oogl. No. 10 S. 187.

**1875.**

1. E. Landolt. *Ein Pupillometer.* Centralbl. f. d. med Wiss. XIII. S. 563—564. — Gaz. méd. de Paris. S. 600.

**1876.**

2. Badal. *Mesure du diamètre de la pupille.* Gaz méd. de Paris. No. 23. — Gaz. des hôpitaux. No. 57

1877.

813. BADAL. *Mesure du diamètre de la pupille et des cercles de diffusion.* Bull. de la clinique du Br. Badal. Paris. Delahaye. S. 28—31.

1878.

814. BADAL. *Pupillomètre.* Arch. d'Ophthalm. Tome. 80. S. 42.

1879.

815. C. W. EVANS. *Measurement of the Pupil.* Brit. med. Journ. S. 662.

1884.

816. GORHAM. *The Pupil-Photometer.* Proc. of the Roy. Soc. London. Bd. 37.

1885.

817. L. BELLARMINOW. *Anwendung der graphischen Methode bei Untersuchung der Pı bewegung. Photochoreograph.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXVII. bis 122. — Roussk. med. No. 11—13.

1886.

818. L. BELLARMINOW. *Versuch einer Anwendung der graphischen Methode zur suchung der Pupillenbewegung und des intraocularen Druckes.* Dissert. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol.

819. CUIGNET. *Kératoscopie, Rétinoscopie, Pupilloscopie, Dioptroscopie et Réfr* Rec. d'Ophthalm. S. 705. — Mém. de la soc. franç. d'Ophthalm. IV. S. 295.

820. W. H. JESSOP. *Pupillometer.* Ophth. Rev. S. 113 u. 320.

1887.

821. JACKSON. *Determination of the size of the pupil.* Med. a. Surg. Rep. LVI. delphia. S. 516.

822. — *Determination of the size of the pupil.* Proc. Philad. med. Soc. VIII.

1888.

823. D. AXENFELD. *Percezione subbiettiva dei movimenti dell' iride.* Bull. d. R. Accad di Roma. 1887/88. IX. S. 122.

824. CL. DU BOIS-REYMOND. *Ueber das Photographiren der Augen bei Magnesiu* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Jahrg. 1888. S. 68.

1891.

825. R. HILBERT. *Pupillenbeobachtungen mittelst der subjectiven Methode.* Betz l rabilien. Heft 5.

1892.

826. M. SACHS. *Ueber den Einfluſs farbiger Lichter auf die Weite der Pupille.* Pfl Arch. Bd. 52. S. 79—86.

1893.

827. C. HESS. *Demonstration eines Instrumentes zur Messung von Pupillendurch und Pupillendistanz.* Bericht d. 23. Vers. d. Ophthalm. Ges. S. 235.

828. M. SACHS. *Eine Methode der objectiven Prüfung des Farbensinnes* Arc Ophthalm. XXXIX. 3. S. 108—125.

829. SCHLÖSSER. *Demonstration eines Pupillometers.* Bericht d. 23. Versamml. d. Opht Ges. S. 234.

1894.

830. O. SCHIRMER. *Untersuchungen zur Physiologie der Pupillenweite.* Graefe's Ar Ophthalm. XL. S. 8—21.


## 3. Vordere Augenkammer.


1868.

831. G. CALDERINI. *Del contatto dell' iride colla lente cristallina nell' occhio umano.* T

1871.

832. F. C. DONDERS. *Sur la distance entre la surface antérieure de la cornée et cel cristallin dans l'œil de l'homme vivant.* Acad. d'Amsterd. 30. Sept. 1871.

1878.

833. HORSTMANN. *Ueber die Tiefe der vorderen Augenkammer.* Onderzoek. 1878. — Cer f. Augenheilkde. 1878. S. XLV. — Zehender's klin. Monatsbl. 3. Beilageheft. S

1879.

834. HORSTMANN. *Ueber die Tiefe der vorderen Augenkammer.* Graefe's Arch. f. Ophth XXV. 1. S. 79—98.

**1880.**

35. J. E. Adams. *Neuer Apparat zur Beleuchtung und Vergrößerung der vorderen Augenpartieen.* Illustr. Vierteljahrsschr. d. ärztl. Polytechnik. 3. Heft.

**1892.**

36. A. Rochon-Duvigneau. *Recherches sur l'angle de la chambre antérieure et le canal de Schlemm.* Thèse de Paris. 1892.


---

## § 4.

## Die Netzhaut und der Sehnerv.

**Wegen weiterer Litteratur-Nachweise siehe § 1. 3.**


**1880.**

37. F. A. Ammon. *De genesi et usu maculae luteae in retina oculi humani obviae.* Viennae.

**1845.**

38. F. Pacini. Nuovi Annali delle sc. nat. di Bologna.

**1850.**

39. Corti. J. Müller's Arch. Jahrg. 1850. S. 274. — Zeitschr. f. wiss. Zool. V.
40. J. Henle. Zeitschr. f. rat. Med. N. F. II. 304 u. 309.

**1851.**

41. H. Müller. Siebold u. Kölliker's Zeitschr. f. wiss. Zool. S. 234. — Verh. der Würzburger med. Ges. 1852. S. 216. Ibid. III. 336 u. IV. 96.

**1852.**

42. A. Kölliker. Verh. der Würzburger med. Ges. III. S. 316.

**1853.**

43. A. Kölliker u. H. Müller. Compt Rend. de l'Acad. des sc. Sept. 23.
44. — Die Retinatafel in Ecker's Icones physiologicae.
45. R. Remak. Compt. Rend. de l'Acad. des sc. 1853. Oct. 31. — Allg. med. Centralz. 1854 No. 1. — Prag. Vierteljahrsschr. XLIII. S. 103.
46. M. v. Vintschgau. Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad. XI. S. 943.

**1854.**

47. A. Kölliker. *Mikroskopische Anatomie.* Leipzig. 1854. II. S. 648—703.

**1855.**

48. R. Blessig. *De retinae textura.* Diss. Dorpat.

**1856.**

49. H. Müller. *Anatomische Beiträge zur Ophthalmologie.* Arch. f. Ophthalm. II. (2.) S. 1. III. (1.) S. 1. — IV. (1.) S. 269.
50. — *Anatomisch-physiologische Untersuchungen über die Retina bei Menschen und Wirbelthieren.* Siebold u. Kölliker's Zeitschr. für wiss. Zool. VIII. 1. — Compt. Rend. XLIII. Oct. 20.

**1857.**

51. C. Bergmann. *Anatomisches und Physiologisches über die Netzhaut des Auges.* Zeitschr. f. rat. Med. (3.) II. 83.

**1858.**

52. Nunneley. *On the structure of the retina.* The quarterly Journ. of microsc. science 1858. Juli. S. 217.

**1859.**

53. Ritter. *Ueber den Bau der Stäbchen und äußeren Endigungen der Radialfasern an der Netzhaut des Frosches.* Arch. f. Ophthalm. V. 2. S. 101.
54. M. Schultze. *De retinae structura penitiori.* Bonn.
55. E. v. Wahl. *De retinae textura in monstro anencephalo.* Diss. Dorpat.

**1860.**

856. W. Manz. *Ueber den Bau der Retina des Frosches.* Zeitschr. f. rat. Med. (3.) X. S. 301.
857. G. Braun. *Eine Notiz zur Anatomie und Bedeutung der Stäbchenschichte der Netzhaut.* Wien. Sitzgs.-Ber. XLII. S. 15—18.
858. W. Krause. *Ueber den Bau der Retinastäbchen beim Menschen.* Göttinger Nachr. 1861. No. 2. — Zeitschr. f. rat. Med. (3.) XI. S. 175.

**1861.**

859. M. Schultze. Sitzgs.-Ber. der niederrh. Ges. S. 97. — Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 785.
860. Ritter. Arch. f. Ophthalm. VIII. S. 1.

**1862.**

861. H. Müller. *Bemerkungen über die Zapfen am gelben Fleck des Menschen.* Würzburger naturwiss. Zeitschr. II. S. 218.
862. — *Ueber das Auge des Chamäleon.* Würzburger naturwiss. Zeitschr. III. S. 10.

**1863.**

863. Schiess. *Beitrag zur Anatomie der Retinastäbchen.* Zeitschr. f. rat. Med. (3.) XVIII. S. 129.
864. H. Welcker. *Untersuchung der Retinazapfen bei einem Hingerichteten.* Zeitschr. f. rat. Med. (3.) XX. S. 173.
865. W. Krause. Zeitschr. f. rat. Med. (3.) XX. S. 7.

**1865.**

866. M. Schultze. *Ueber den gelben Fleck der Retina, seinen Einfluſs auf normales Sehen und auf Farbenblindheit.* Bonn. 1865. 16 S.

**1866.**

867. C. Hasse. *Vorläufige Mittheilung über den Bau der Retina.* Göttinger Nachr. No. 8.
868. J. Henle. *Handbuch der systematischen Anatomie des Menschen.* II. S. 636—670.
869. M. Schultze. *Zur Anatomie und Physiologie der Retina.* Arch. f. mikrosk. Anat. II. S. 175—286.
870. W. Steinlin. *Beitrag zur Anatomie der Retina.* Aus d. Verh. d. St. Gallischen naturw. Ges. 1865 u. 1866.

**1867.**

871. C. Hasse. *Beiträge zur Anatomie der menschlichen Retina.* Zeitschr. f. rat. Med. XXIX. S. 238.
872. J. W. Hulke. *On the anatomy of the fovea centralis of the human retina.* Philos. transact. Vol. 157. Theil 1. S. 109.
873. M. Schultze. *Bemerkungen über Bau und Entwickelung der Retina.* Arch. f. mikrosk. Anat. III. S. 371—382.
874. W. Krause. *Zur Anatomie und Physiologie der Retina.* Arch. f. mikrosk. Anat. II. S. 165—286.
875. — *Ueber Stäbchen und Zapfen der Retina.* Arch. f. mikrosk. Anat. III. S. 215 bis 247.

1868.

876. V. Hensen. *Bemerkungen zu W. Krause: Die Membrana fenestrata der Retina.* Arch. f. mikrosk. Anat. (3.) S. 347.
877. W. Krause. *Ueber die Endigung des Nervus opticus.* Arch. f. Anat. S. 243 und S. 643.
878. M. Schultze. *Bemerkungen zu dem Aufsatz des Dr. W. Steinlin: Ueber Stäbchen und Zapfen der Retina.* Arch. f. mikrosk. Anat. IV. (2.) S. 22.
879. W. Steinlin. *Ueber Zapfen und Stäbchen der Retina.* Arch. f. mikrosk. Anat. IV. (1.) S. 10.
880. G. Wagener. *Ueber die Structur der Retina.* Marb. Sitzgs.-Ber. No. 5.

**1869.**

881. M. Schultze. *Ueber die Nervenendigung in der Netzhaut des Auges bei Menschen und Thieren.* Arch. f. mikrosk. Anat. V. (4.) S. 379—403. — Sitzgs.-Ber. d. niederrh. Ges. f. Naturkde. u. Heilkde. Bonn. 3. Mai.
882. — *Die Stäbchen in der Retina der Cephalopoden und Heteropoden.* Arch. f. mikrosk. Anat. V. (1.) S. 1—24.

**1870.**

3. E. Landolt. *Beitrag zur Anatomie der Retina.* Arch. f. mikrosk. Anat. VII. S. 81.

4. F. Merkel. *Zur Kenntnifs der Stäbchenschichte der Retina.* Arch. f. Anat. S. 642.

5. — *Ueber die Macula lutea des Menschen und die Ora serrata einiger Wirbelthiere.* Leipzig.

6. H. Meyer. *Eine historische Notiz über eine Varietät des Nervus opticus.* Arch. f. Anat. S. 523.

**1871.**

7. W. Dobrowolsky. *Zur Anatomie der Retina.* Arch. f. Anat. v. Reichert u. du Bois-Reymond. S. 221—236.

8 — *Die Doppelzapfen.* Arch. f. Anat. v. Reichert u. du Bois-Reymond. S. 208 bis 220.

9. G. Retzius. *Om membrana limitans retina interna.* Nord. med. arch. III. Heft 1. No. 2.

0. M. Schultze. *Neue Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Retina des Menschen.* Arch. f. mikrosk. Anat. VII. S. 244.

1. — *Die Retina.* Stricker's Handb. S. 977.

**1872.**

2. M. Duval. *Structure et usages de la rétine.* Thèse p. l. conc. d'agrégat. Paris. 150 S. Auszug im Journ. de l'Anat. u. Physiol. 1873. 3. S. 308—316.

3. Isaacsohn. *Beitrag zur Anatomie der Retina.* Diss. Berlin.

**1874.**

4. J. C. Ewart. *On the minute structure of the retina and vitreous humor.* Journ. of anat. and physiol. XIV. S. 353—357.

5. Gudden. *Ueber die Kreuzung von Fasern im Chiasma nervorum opticorum.* Arch. f. Ophthalm. XX. 2. 248 S.

6. H. Schmidt. *Die Farbe der Macula lutea im Auge des Menschen.* Med. Centralbl. No. 57. S. 900—902. – Sitzgs.-Ber. d. Ges. z. Bef. d. ges. Naturwiss. z. Marburg. No. 7.

**1875.**

7. J. C. Ewart. *On the minute structure of the Retina and Vitreous humor.* Journ. of Anat. and Physiol. (2.) XV. 166.

8. J. Michel. *Ueber die Ausstrahlungsweise der Opticusfasern in der menschlichen Retina.* Beitr. z. Anat. u. Physiol. als Festgabe an Carl Ludwig. Leipzig. 1875. S 56.

9. W. Nicati. *Recherches sur le mode de distribution des fibres nerveuses dans le nerf optique et dans la rétine.* Arch. de physiol. Ser. II. T. II. No. 5. S. 521—530.

0. H. Schmidt. *Weitere Mittheilung uber die Farbe der Macula lutea im Auge des Menschen.* Sitzgs.-Ber. d. Ges. z. Bef. d. ges. Naturw. z. Marburg. 24. März 1875.

1. H. Schmidt-Rimpler. *Die Macula lutea, anatomisch und ophthalmoskopisch.* Arch. f. Ophthalm. XXI. (3.) S. 17—28.

**1876.**

2. J. C. Ewart und G. Thin. *On the structure of the retina.* Journ. of Anat. a. Physiol. XI. S. 96—108.

3. W. Krause *Die Nervenendigung in der Retina.* Arch. f. mikrosk. Anat. XII. S. 742—790.

4. F. Merkel. *Ueber die menschliche Retina.* Arch. f. Ophthalm. Bd. 22. (4.) S. 1—25.

5. Woinow. *Ueber die Kreuzung der Sehnerven.* Kl. Monatsbl. f. Augenheilkde. XII. S. 424.

**1877.**

6. F. Merkel. *Die menschliche Retina.* Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 205—226.

**1878.**

7. A. Angelucci. *Ricerche istologiche del epithelio retinico dei vertebrati.* Atti dei Lincei. Ser. III. Memorie fisiche. Vol. II. S. 1081.

8. — *Histologische Untersuchungen uber das retinale Pigmentepithel der Wirbelthiere.* du Bois-Reymond's Arch. f. Physiol. 1878. S. 353.

9. Kühne. *Die farbigen Kugeln der Zapfen in der Vogel-Retina.* Centralbl. f. med. Wiss. 1878. No. 1 u. 2.

910. L. Löwe. *Zur Anatomie des Auges. Zur mikroskopischen Histogenese der Retina.* Arch. f. mikrosk. Anat. XV. 4.

1879.

911. G. Denissenko. *Einige Worte über den Bau der Molecularschicht der Netzhaut.* Med. Uebersicht. Juni 1879.
912. — *Ueber die innere Körnerschicht der Retina.* Med. Uebersicht. August 1879.

1880.

913. G. V. Ciaccio. *Notizia sulla forma della fovea centrale ch' è nella macchia lutea della retina umana.* Rend. d. acad. d. sc. d. istit. di Bologna. 24. Mai.
914. G. Denissenko. *Vorläufige Bemerkungen zur Lehre über den Bau der Netzhaut.* Schenk's Mittheil. a. d. embryol. Inst. d. Univ. in Wien. S. 61—63.
915. — *Untersuchungen über den Bau der inneren Körnerschicht und der Molecularschicht der Netzhaut.* Schenk's Mittheil. a. d. embryol. Inst. d. Univ. in Wien. S. 11—24.
916. — *Einige Bemerkungen über den Bau der Netzhaut.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 52.
917. — *Einige Beobachtungen über die Gefäfse in der Fovea centralis der Netzhaut im Menschen.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 47.
918. W. Krause. *Ueber die Fasern des Sehnerven.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. 2.
919. Salzer. *Ueber die Anzahl der Sehnervenfasern und der Retinalzapfen im Auge des Menschen.* Wien. Ber. Bd. 81. 3.

1881.

920. O. Becker. *Die Gefäfse der menschlichen Macula lutea.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (1.) S. 1.
921. Cl. du Bois-Reymond. *Zahl der Empfindungskreise in der Netzhautgrube.* Berlin. Diss. 31 S.
922. G. Colasanti. *Alcune esperimenze sull epitelio retinico dei Laboroidi.* Bull. d. r. Acc. med. di Roma. VII. S. 298.
923. W. Krause. *Ueber die Retinazapfen der nächtlichen Thiere.* Arch. f. mikrosk. Anat. S. 309—314.
924. Kuhnt. *Ueber den Bau der Fovea centralis des Menschen.* Ber. üb. d. 13. Vers. d. Ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 141—146.
925. J. Michel. *Ueber die Nervenfaserschicht der Netzhaut.* Verh. d. physik.-med. Ges. zu Würzburg. N. F. XV. 3 4.
926. G. Retzius. *Beiträge zur Kenntnifs der inneren Schichten der Netzhaut des Auges.* Biol. Unters. S. 89—104.
927. O. F. Wadsworth. *The Fovea centralis in Man.* Beitr. z. Ophthalm. als Festg. Prof. Horner gewidmet. Wiesbaden. Bergmann.
928. G. Waelchli. *Mikrospectroscopische Untersuchungen der gefärbten Kugeln in der Retina von Vögeln.* Arch. f. Ophthalm. Bd. 27. (2.) S. 303—319.

1882.

929. E. Berger. *Zur Kenntnifs vom feineren Baue des menschlichen Sehnerven.* Arch. f. Augenheilkde. XI. S. 314.
930. L. Bruns. *Vergleichend anatomische Studien über das Blutgefäfs-System der Netzhaut.* Diss. München. — Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. Heft 2. S. 77—101.
931. J. Chatin. *Sur l'existence des cônes dans la rétine de la souris.* Bull. Soc. philomat. de Paris. (7.) VI. S. 128.
932. G. Colasanti. *Studj sulla retina delle scorpene.* Bull. d. r. Acc. med. di Roma. S. 344.
933. G. Denissenko. *Ueber den Bau der Netzhaut bei der Quappe (Lota vulgaris) und bei Ophidium barbatum.* Arch. f. Ophthalm. XXVIII. (1.) S. 125—138.
934. — *Ueber den Bau der Netzhaut des Aales.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXI. S. 1—
935. L. Desfosses. *Anatomie de la rétine.* Arch. f. Ophthalm. S. 97.
936. S. Gauser. *Zur Anatomie der Katzenretina.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. Heft 2. S. 139—140.
937. Gudden. *Ueber die verschiedenen Nervenfasersysteme in der Retina und im Nervus opticus.* Tagebl. d. 55. Vers. d. Naturf. u. Aerzte. Eisenach. No. 7. S. 307.
938. K. Mays. *Ueber das braune Pigment des Auges.* Heidelb. Unters. II. S. 324—35
939. H. Virchow. *Ueber die Glaskörper- und Netzhautgefäfse des Aales.* Morphol. Jahrb. VII. S. 573—590.

1883.

940. W. v. Bechterew. *Experimentaluntersuchung über die Kreuzung der Sehnervenfasern im Chiasma nervorum opticorum.* Klinitscheskaja Gazeta. No. 2, 3. — Neurol. Centralbl. S. 53.

941. Bellonci. *Contribuzione all' istiogenesi ed istiologia dello strato molecolare interno della retina.* Mem. d. Acad. de sc. di Bol. (4.) III. 4.

942. M. Borysiekiewicz. *Stäbchenorgan der Retina.* Anz. d. k. k. Ges. d. Aerzte in Wien. No. 23.

943. F. Burdach. *Zur Faserkreuzung im Chiasma und in dem Tractus nervorum opticorum.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIX. (3.) S. 135.

944. A. Dogiel. *Die Retina der Ganoiden.* Arch. f. mikrosk. Anat XXII. S. 419—472.

945. E. v. Fleischl. *Die Verteilung der Sehnervenfasern über die Zapfen der menschlichen Netzhaut.* Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad. Bd. 87. 3. Abth. (Sitzung v. 10. Mai.)

946. — *Zur Anatomie und Physiologie der Retina.* Biol. Centralbl. III. S. 309 u. 331.

947. J. Ogneff. *Ueber die moleculäre Schicht und die sog. reticuläre Substanz der Retina.* Centralbl. f. d. med. Wissensch. No. 45. S. 801—804.

948. G. Szabó. *Untersuchung über das Pigmentepithel der Netzhaut bei Säugethieren.* Szemészet. No. 5 u. 6.

949. — *Ueber die Farbe des Netzhautepithels bei Vertebraten.* Szemészet. Budapest. 1883. S. 113. 1884. S. 9.

950. A. Tafani. *Andamento e terminazione del nervo ottico nella retina dei crocodilli (Champsa Lucius).* Boll. d'ocul. Firenze. V. S. 318. 333. (1882/83). — VI. S. 14. (1883/84).

951. G. Waelchli. *Zur Topographie der gefärbten Kugeln der Vogelnetzhaut.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIX. (3.) S. 205.

1884.

952. L. Bruns. *Vergleichend-anatomische Untersuchungen über das Blutgefäfssystem der Netzhaut.* Biol. Centralbl. IV. S. 244.

953. A. Dogiel. *Zur Frage über den Bau der Retina bei Triton cristatus.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXIV. S. 451—467.

954. — *Ueber die Retina des Menschen.* Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Histiol. S. 143 u. S. 161.

955. E. v. Fleischl. *Zur Physiologie der Retina.* Wien. med. Wochenschr. No. 10 u. 11. S. 273 u. 308.

956. A. Kölliker. *Ueber markhaltige Nervenfasern der Netzhaut.* Diss.

957. Koganëi. *Histiogenese der Netzhaut.* Verh. d. physiol. Ges. zu Berlin. No. 4 u. 5. — Arch. f. mikrosk. Anat. XXIII. S. 335. Arch. f. Physiol. S. 172.

958. W. Krause. *Die Retina.* Intern. Mon.-Schr. für Anat. u. Histol. I. S. 225—254.

959. Rampoldi. *Materiali da servire allo studio istologico della retina dei mammiferi* Ann. di Ottalm. S. 439.

960. G. Sacchi *Nuovi indagini relative alla tessitura della nevroglia nella retina dei vertebrati.* Sperimentale. Firenze. LIII. S. 620.

961. P. Schiefferdecker. *Beiträge zur Kenntnifs des Stutzfasergewebes der Netzhaut.* Göttinger Anz. No. 7.

962. Tafani. *Parcours et terminaisons du nerf optique dans la rétine des crocodiles.* (*Champsa Lucius.* Arch. Ital. de Biol. IV. S. 110.

1885.

963. St. Bernheimer *Zur Kenntnifs der Nervenfaserschicht der menschlichen Netzhaut.* Sitzgs.-Ber. d k. k. Acad. d. Wiss. zu Wien. Bd. 90. S. 1—2.

1886.

964. J. W. Barret. *The distribution of blood-vessels in the retina of mammals.* Journ of Physiol. VII. S. 230.

965. G. Cuccati. *Contributo all' anatomia microscopica della retina del bue e del cavallo.* Rend. d. R. Accad. di Bologna. 1885—86. S. 44.

966. G. Denissenko. *Ueber den Bau der Retina bei Trigonum pastinaca* (Russisch.) Westn. Ophthalm. III. 3. S. 193

967. W. Krause. *Die Retina II. Die Retina der Fische.* Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Histiol. III. 1. S. 8—38. 2. S. 41—73

968. P. Schiefferdecker. *Studien zur vergleichenden Histiologie der Retina* Arch. f. mikrosk. Anat. XXVIII. S. 305—396

1887.

969. M. Borysiekiewicz. *Untersuchungen über den feineren Bau der Retina.* Töplitz u. Deutike. 70 S.
970. F. Falchi. *Sull' istogenesi della retina e del nervo ottico.* Ann. di ottalm.
971. F. Tartuferi. *Sull' anatomia della retina.* Arch. per le sc. med S. 335—358. — Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Physiol. IV. S. 421.
972. — *Sur la structure intime de la rétine.* Arch. Ital. de Biol. IX. 1. S. 10–

1888.

973. A. Dogiel. *Ueber das Verhalten der nervösen Elemente in der Retina der ( Reptilien, Vögel und Säugethiere.* Anat. Anz. 4/5. S. 133—143.
974. — *Ueber die nervösen Elemente in der Retina der Amphibien und Vögel.* Anz. S. 342—347.
975. W. Krause. *Die Retina der Fische.* Internat. Monatsschr. f. Anat. u. I S. 132—148.
976. Ph. Stöhr. *Neues über die Netzhaut.* Sitzgs.-Ber. d. physik.-med. Ge S. 124—128 u. No. 9. S. 129—132.

1889.

977. S. Ramon y Cajal. *Sur la morphologie et les connections des élémen rétine des oiseaux.* Anat. Anz. IV. 4. S. 111—121.
978. J. H. Chievitz. *Untersuchungen über die Area centralis retinae.* Arch. f. Physiol. S. 139.
979. R. Dubois u. J. Renaut. *Sur la continuité de l'épithélium pigmenté de avec les segments externes des cônes et des bâtonnets et la valeur morpholo cette disposition chez les vertébrés.* Compt. Rend. Bd. 109. S. 747—749.
980. W. Krause. *Die Retina der Fische.* Internat. Monatsschr. f. Anat. u. His S. 206—223, 250—269.
981. — *Historische Notiz (Ueber die Zapfen des Maulwurfs).* Arch. f. O XXXV. (3.) S. 279.
982. Kuhnt. *Histologische Studien an der menschlichen Netzhaut.* Jenaische Ze Wiss. XXIV. S. 177.
983. B. Solger. *Demonstration von Schnitten durch die menschliche Retina (Ge Macula lutea).* Verh. d. anat. Ges. a. d. 3. Vers. in Berlin. 10—12. Oc S. 138—139.

1890.

984. G. Biagi. *La fovea centrale della retina nei lofobranchi.* R. Ist. Lo XXIII. 662.

1891.

985. M. Sachs. *Ueber die specifische Lichtabsorption des gelben Fleckes der* Pflüger's Arch. Bd. 50. S. 574—587.

1892.

986. A. S. Dogiel. *Ueber die nervösen Elemente in der Retina des Menschen* Mitth.) Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 40. S. 29—38.

1893.

987. S. Ramón y Cajal. *La rétine des vertébrés.* La Cellule. IX. 1. S. 119.
988. Dogiel. *Neuroglia der Retina des Menschen.* Arch. f. mikrosk. Anat. S.

1894.

989. M. Borysiekiewicz. *Weitere Untersuchungen über den feineren Bau der* Leipzig u. Wien. F. Deuticke. 64 S.
990. — *Erwiderung auf Dimmer's Angriff gegen meine Arbeiten: „Ueber den Bau der Netzhaut."* Wien. med. Bl. S. 303.
991. — *Antwort auf die Entgegnung des Herrn Docenten Dr. Dimmer* Wien. med. Bl. S. 351.
992. S. Ramón y Cajal (u. R. Greeff). *Die Retina der Wirbelthiere.* In Ver mit dem Verfasser zusammengestellt, übersetzt und mit Einleitung versel R. Greeff. Wiesbaden. J. F. Bergmann. 179 S.
993. Fr. Dimmer. *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Macula lutea des M* Wien. F. Deuticke. 133 S.
994. — *Entgegnung an Herrn Prof. Borysiekiewicz.* Wien. med. Bl. S. 319.
995. R. Greeff. *Die Spinnenzellen (Neurogliazellen) im Sehnerv und in der* Arch. f. Augenheilkde. XXIX. S. 324—339.

996. CH. L. GREEN. *Ueber die Bedeutung der Becherzellen der Conjunctiva.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (1.) S. 1—21.
997. E. KALLIUS. *Untersuchungen über die Netzhaut der Säugethiere.* Anat. Hefte. Heft 3. S. 527.
998. W. KRAUSE. *Die Retina der Vögel.* Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Physiol. XI. S. 1—66, 69—123.
999. F. LEYDIG. *Einiges zum Bau der Netzhaut des Auges.* Zool. Jahrb. Abth. f. Anat. VII. 2. S. 309.
1000. W. MANZ. *Ueber markhaltige Nervenfasern in der menschlichen Netzhaut.* Arch. f. Augenheilkde. XXIX. S. 220—233.
1001. W. F. NORRIS u. J. WALLACE. *A contribution to the anatomy of the human retina, with a special consideration of the terminal loops of the rods and cones.* University med. mag. March. (Philadelphia.)

---

## § 5.

# Die Krystallinse.

Wegen weiterer speciell anatomischer Litteratur siehe auch § 1. 5.
Litteratur über die Art der Schichtung in der Krystallinse siehe § 10. 1 und 5.

1845.

1002. A. HANNOVER. Müller's Archiv. 1845. S. 478*.

1846.

1003. HARTING. van de Hoeven en de Vriese Tijdschrift. XII. S. 1.

1847.

1004. E. BRÜCKE. *Beschreibung des menschlichen Augapfels.* Berlin. S. 27—30*.

1849.

1005. W. BOWMAN. *Lectures on the parts concerned in the oper. on the eye.* London.

1851.

1006. H. MEYER. J. Müller's Archiv. 1851. 202*.

1852.

1007. GROS in Compt. Rend. de l'Acad. d. Sciences. 1852. Avril.
1008. D. BREWSTER. *On the development and extinction of regular doubly refracting structures in the cristalline lenses of animals after death.* Phil. Mag. (4.) III. S. 192—198.

1854.

1009. A. KÖLLIKER. *Mikroskopische Anatomie.* Leipzig. II. 703—713*.
1010. THOMAS in Prager med. Vierteljahrsschr. 1854. Bd. 1. Aufserord. Beil. S. 1*.

1855.

1011. J. CZERMAK. *Ueber das Wesen der von Dr. C. Thomas auf Linsenschliffen entdeckten Curvensysteme.* Zeitschr. f. wiss. Zool. VII. Heft 3.

1859.

1012. G. VALENTIN. *Neue Untersuchungen über die Polarisationserscheinungen der Krystalllinsen des Menschen und der Thiere.* Arch. f. Ophthalm. IV. (1.) S. 227—268.
1013. D. BREWSTER. *On certain abnormal structures in the crystalline lenses of animals and in the human crystalline.* Rep. of Brit. Ass. 1858. 2. S. 7.

1863.

1014. F. J. v. BECKER. *Ueber den Bau der Linse bei dem Menschen und den Wirbelthieren.* Arch. f. Ophthalm. IX. (2.) S. 1—42.

1869.

1015. M. WOINOW. *Ueber die Entstehung der bipolaren Anordnung der Linsenfasern.* Wien. Ber. LX. 2. S. 151—154.

1871.

1016. Babuchin. *Die Linse.* Stricker's Handb. S. 1080.

1017. Robinski. *Untersuchungen über die Augenlinse.* Reichert u. Du-Bois' Arch. S. 386.

1872.

1018. J. Henle. *Zur Anatomie der Krystalllinse.* Göttingen.

1019. Robinski. *Zur Anatomie, Physiologie und Pathologie der Augenlinse des Menschen und der Wirbelthiere.* Reichert u. Du-Bois' Arch.. S. 178—205.

1873.

1020. S. Fubini. *Beiträge zum Studium der Krystalllinse.* Moleschott's Unters. z. Naturl. XI. S. 291—299.

1876.

1021. A. H. Jacob. *The physiological function and anatomy of the crystalline lens.* Med. Presse and Circular. 19. u. 26. Juli.

1877.

1022. K. Ritter. *Zur Histologie der Linse. 4. Ueber die allgemeine Anordnung der Vogellinse nebst Bemerkungen über das Zustandekommen der Accomodationsbewegung in der Linse.* Arch. f. Ophthalm. XXIII. (2.) S. 44—61.

1023. K. Rumschewitz. *Ueber die Entwickelung der Linse und des Glaskörpers.* Schr. d. Naturf. zu Kiew. V. 2.

1878.

1024. J. Henle. *Zur Anatomie der Krystalllinse.* Abhandl. d. Kgl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen. Auch separat. Göttingen. Dietrich. S. 62.

1025. M. Knies. *Zur Chemie der Altersveränderung der Linse.* Heidelb. Unters. I. S. 114—119.

1026. K. Ritter. *Zur Histologie der Linse.* Arch. f. Ophthalm. XXIV. (2.) S. 1—36.

1882.

1027. O. Becker. *Ueber die Structur der Krystalllinse.* Ber. über d. XIV. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. 1882. Beil.-Heft zu d. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XX. S. 174.

1028. E. Berger. *Bemerkungen über die Linsenkapsel.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Januar.

1029. Robinski. *Sind die Augenlinsenröhren ein- oder mehrkörnig?* Centralbl. f. d. med. Wissensch. S. 498.

1030. — *Structur der Augenlinsenröhren.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 28.

1031. — *Untersuchungen zur Kenntnifs der Länge und Anordnung der Augenlinsenfasern.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 21.

1032. — *Untersuchungen über die sog. Augenfasern.* Arch. f. Augenheilkde. XI. S. 417.

1883.

1033. O. Becker. *Ueber den Wirbel und den Kernbogen in der menschlichen Linse.* Arch. f. Augenheilkde. XII. S 127.

1034. — *Zur Anatomie der gesunden und kranken Linse.* Wiesbaden. Bergmann. 1883. 218 S.

1035. Heitzmann. *Ueber den feineren Bau der Linse und des Glaskörpers.* Ber. d. ophthalm. Ges. S. 33. Beil.-Heft z. d. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXI. S. 33 bis 38.

1036. S. Robinski. *Zur Kenntnifs der Augenlinse und deren Untersuchungsmethoden.* Berlin. 1883. 60 S.

1884.

1037. O. Becker. *Zur Structur der Linse.* Ber. d. XVI. Versamml. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S, 78.

1886.

1038. Gottschau. *Bau der Krystalllinse.* Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzte. October.

1888.

1039. L. Matthiessen. *Ueber die Thomas'schen Bipolarkurven auf angeschliffenen Krystalllinsen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLII.

1891.

1040. P. H. Fridenberg. *Ueber die Sternfigur der Krystalllinse.* Diss. Strafsburg. 22 S.

## § 6.

# Wässerige Feuchtigkeit und Glaskörper.

Wegen weiterer speciell anatomischer Litteratur siehe auf § 1. s.


**1842.**

1041. PAPPENHEIM. *Specielle Gewebelehre des Auges.* S. 181.

**1843.**

1042. E. BRÜCKE. *Ueber den inneren Bau des Glaskörpers.* J. Müller's Arch. S. 345.

**1845.**

1043. A. HANNOVER. J. Müller's Arch. S. 467.
1044. E. BRÜCKE. *Ueber den inneren Bau des Glaskörpers.* J. Müllers Arch. S. 130.

**1846.**

1045. F. C. DONDERS en JANSEN. Nederlandsch Lancet. II. S. 454.

**1847.**

1046. E. BRÜCKE. *Beschreibung des menschlichen Augapfels.* Berlin.

**1848.**

1047. W. BOWMAN. Dublin Quarterly Journ. of Med. Science. Aug.; auch in *Lectures on the Parts conc. in the oper. on the eye.* London. S. 94.

**1851.**

1048. R. VIRCHOW. Verh. d. Würzburger phys. med. Ges. II. — Arch. f. pathol. Anat. IV. S. 468 u. V. S. 278.
1049. A. *KÖLLIKER. *Mikrosk. Anatomie.* II. S. 713.

**1852.**

1050. A. HANNOVER. *Das Auge.* Leipzig.

**1854.**

1051. *A. DONCAN. *De corporis vitrei structura.* Diss. Utrecht. 1854. — Onderzoekingen ged. in het physiol. Laborat. der Utrechtsche Hoogeschool. Jaar VI S. 172.

**1865.**

1052. H HEIBERG. *Zur Anatomie und Physiologie der Zonula Zinnii.* Arch. f. Ophthalm. XI. (3.) S. 168.

**1869.**

1053. D. SMITH *Structure of the adult human vitreous humor.* Lancet. 8. Mai.
1054. J. STILLING. *Eine Studie über den Bau des Glaskörpers.* Arch. f. Ophthalm. XV. (3.) S. 299.

**1874.**

1055. J. C. EWART. *On the minute structure of the retina and vitreous humor.* Journ of anat and physiol. XIV. S 353—357.

**1877.**

1056. K. RUMSCHEWITZ. *Ueber die Entwicklung der Linse und des Glaskörpers.* Schr. d. Naturf. zu Kiew. V. 2.

**1878.**

1057. ALBINI. *Die Functionen des Corpus vitreum.* Ausz. a. Rendic Real. Acc. sc. fis. e. mat. di Napoli. October.

**1882.**

1058. E. BERGER *Beiträge zur Anatomie der Zonula Zinnii* Arch. f Ophthalm. XXVIII. (2) S. 111—124.
1059. P. HAENSELL. *Ueber den Bau des Glaskörpers.* Ber. d. ophthalm Ges. zu Heidelberg. Beil.-Heft zu d. Kl. Mon. Bl f. Augenheilkde. XX. S. 103—110.
1060. H. VIRCHOW *Ueber die Glaskörper- und Netzhautgefäfse des Aales.* Morphol. Jahrb. VII. S. 573—590.

**1888.**

1061. DESSAUER. *Zur Zonulafrage.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXI. S. 89—99.
1062. HEITZMANN. *Ueber den feineren Bau der Linse und des Glaskörpers.* Ber. d. ophthalm. Ges. S. 33. Beil.-H. z d. klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXI. S. 33—38.

**1887.**

1063. KUHN. *Zur Chemie des Humor aqueus.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. I
S. 200—202.

**1888.**

1064. P. HÄNSELL. *Recherches sur la structure et l'histogénese du corps vitré no
pathologique.* Thèse de Paris. 40 S.

**1891.**

1065. R. v. GARNIER. *Ueber den normalen und pathologischen Zustand der Zonula*
Arch. f. Augenheilkde. XXIV. S. 32—41.

1066. W. SCHOEN. *Noch einmal: Die Concavität des vorderen Zonulablattes.* A
Augenheilkde. XXII. S. 422—426.

**1894.**

1067. W. PAUTZ. *Beiträge zum Chemismus des Glaskörpers und des Humor*
Zeitschr. f. Biol. XXXI. S. 212—243.

---

# § 7.

# Umgebung des Auges.

**1867.**

1068. H. COHN. *Messungen der Prominenz der Augen, mittelst eines neuen Instru
des Exophthalmometers.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. V. S. 339.

**1868.**

1069. H. COHN. *Présentation d'un instrument déstiné à déterminer avec précision le
de saillie du globe oculaire dans l'exophthalmus.* Compt. Rend. du C
d'Ophthalm. S. 21.

**1870.**

1070. E. EMMERT. *Ueber Exophthalmometer nebst Beschreibung eines eigenen.*
Mitth. No. 711—714. S. 208—222.

1071. P. KEYSER. *Ueber das Messen der Prominenz des Auges.* Arch. f. Augen
Ohrenheilkde. I. S. 183—186.

1072. W. ZEHENDER. *Noch ein Exophthalmometer.* Klin. Monatsbl. f. Augenhe
VIII. S. 42.

**1872.**

1073. A. KRUKHOFF. *Appareil pour définir la distance entre les centres des pu*
Compt. Rend. de la soc. des méd. russ. à Moscou. No. 17.

**1878.**

1074. FR. HOLMGREN. *Ueber den Augenabstand der Farbenblinden.* Graefe's Ar
Ophthalm.

**1879.**

1075. H. COHN. *Ein Brief betreffend die Pupillendistanz Farbenblinder.* Upsala Lä
Förh. XIV. S. 537—538.

1076. E. HERING. *Ueber Muskelgeräusche des Auges.* Wien. Ber. LXXIX. S. 137.

1077. F. HOLMGREN. *Ueber den Pupillenabstand bei den Farbenblinden.* Upsala Lä
Förh. XIV. S. 73—91.

**1881.**

1078. E. LANDOLT. *Relations between the conformation of the cranium and that
eye.* Brit. med. Journ. 2. April.

1079. H. VIRCHOW. *Ueber die Gefäfse im Auge und in der Umgebung des Auges
Frosche.* Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 35. S. 247—281.

**1883.**

1080. KOSCHEL. *Ueber Form, Lage und Gröfsenverhältnisse der Orbita, des Bulbu
der Krystalllinse unserer Hausthiere.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. II.

81. MOTAIS. *Contribution à l'étude de l'anatomie comparée des muscles de l'œil et de la capsule Tenon.* Paris.
82. STÖTTING. *Vorschlag zu einigen Veränderungen an dem von Herrn Prof. Zehender angegebenen Exophthalmometer.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 355.
1884.
83. MOTAIS. *Recherches sur les muscles de l'œil chez l'homme et dans la série animale.* Bull. de la Soc. franç. d'ophthalm. S. 172.
84. — *Recherches sur l'anatomie humaine et l'anatomie comparée de l'appareil moteur de l'œil.* Arch. d'Ophthalm. IV. S. 512.
1885.
85. MOTAIS. *Recherches sur l'anatomie humaine et l'anatomie comparée de l'appareil moteur de l'oeil.* Arch. d'Ophthalm. V. S. 28, 143, 419 u. 524.
1886.
86. MOTAIS. *Recherches sur l'anatomie humaine et l'anatomie comparée de l'appareil moteur de l'œil.* Arch. d'Ophthalm. VI. S. 157.
1887.
87. MOTAIS. *Anatomie de l'appareil moteur de l'œil de l'homme et des vertébrés.* Paris. Delahaye u. Lecosnier. 303 S.
1889.
88. R. DREWS. *Ueber das Mongolenauge.* Arch. f. Anthrop. XVIII. 3. S. 223—233.
89. L. WEISS. *Ueber directe Messung des Neigungswinkels des Orbitaeinganges.* Arch. f. Augenheilkde. XXI. S. 1.
90. — *Zur Anatomie der Orbita.* Ber. üb. d. XX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 73.
1891.
91. E. CURTIUS. *Das menschliche Auge in der griechischen Plastik.* Sitzgs.-Ber. d. Berl. Akademie v. 9. Juli 1891.
92. W. WALDEYER. *Bemerkungen zu der vorstehenden Mittheilung des Herrn Curtius.* Sitzgs.-Ber. d. Berl. Akademie v. 9. Juli 1891.
1892.
93. R. GREEFF. *Studien über die Plastik des menschlichen Auges am Lebenden und an den Bildwerken der Antike.* Arch. f. Anat. Jahrg. 1892. S. 113—136.
94. SCHMIDT-RIMPLER. *Das Auge und seine Darstellung in Sculptur und Malerei.* Nord und Süd. LXII. No. 186.
1894.
95. A. ANTONELLI. *L'ophthalmomètre Javal employé pour l'exophthalmométrie et l'ophthalmostatométrie.* Arch. d'Ophthalm. XIV. S. 529—542.
96. L. WEISS. *Ueber das Verhalten von M. rectus externus und rectus internus bei wachsender Divergenz der Orbita.* Arch. f. Augenheilkde. Bd. XXIX. S. 298.
97. WICHERKIEWICZ. *Ein neuer Orbitalmesser.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXXII. S. 365—367.

---

# § 9.

# Gesetze der Brechung in Systemen kugeliger Flächen.

## 1. Aeltere Litteratur.

1738.
98. COTES in Smith a complete system of optics. II. S. 76. Cambridge.
1757.
99. L. EULER. *Règles générales pour la construction des télescopes et microscopes de quelque nombre de verres qu'ils soient composés.* Histoire de l'Acad. roy. de Berlin pour 1757. S. 283.

**1761.**

1100. L. EULER. Histoire de l'Acad. roy. de Berlin pour 1761. S. 201.

**1765.**

1101. L. EULER. *Précis d'une théorie générale de la dioptrique.* Hist. de l'acad. ro sc. de Paris. 1765. S. 555.

**1778.**

1102. LAGRANGE. Nouv. Mém. de l'acad. roy. de Berlin pour 1778. S. 162.

**1780.**

1103. LAGRANGE. *Sur la théorie des lunettes.* Nouv. Mém. de l'Acad. de Berlin. S

**1803.**

1104. LAGRANGE. Nouv. Mém. de l'acad. roy. de Berlin pour 1803. S. 1.

**1822.**

1105. PIOLA. *Sulla theoria de'cannocchiali.* Effemeridi astron. di Milano per 1822

**1830.**

1106. MÖBIUS. *Kurze Darstellung der Haupteigenschaften eines Systems von Linsengl* Crelle's Journ. f. Mathematik. Bd. V. S. 113.

**1841.**

1107. *BESSEL. *Ueber die Grundformeln der Dioptrik.* Astronom. Nachr. Bd. X S. 97.

1108. *GAUSS. *Dioptrische Untersuchungen.* Göttingen. — Abdruck aus Abh. d. Ges. d. Wiss. zu Göttingen. Th. 1. von den Jahren 1838—43.

**1844.**

1109. ENCKE. *De formulis dioptricis.* Programm. Berlin.

1110. MOSER. *Ueber das Auge.* Dove's Repert. d. Phys. Bd. V. S. 289.

1111. — *Methode die Brennweite und optischen Hauptpunkte von Linsen zu besti* Pogg. Ann. Bd. LXIII. S. 39.

**1847.**

1112. MINDING. *Neue Ausdrücke für die Hauptgesetze der Dioptrik.* Pogg. Ann. B

**1851.**

1113. LISTING. *Dioptrik des Auges.* R. Wagner's Handwörterbuch d. Physiol. Bd. S. 451.

1114. A. F. MÖBIUS. *Entwickelung der Lehre von dioptrischen Bildern mit Hülfe der Coll tionsverwandtschaft.* Ber. d. Leipziger Ges. d. Wiss. S. 8.

## 2. Neuere Litteratur.

Hinsichtlich der neueren Litteratur mufs im allgemeinen auf die physikalischen Lehrbüche wiesen werden. Hier folgt Einiges, was näheren Bezug auf die Dioptrik des Auges hat. — Weg Brechung in nicht-kugeligen Flächen siehe § 14.

**1856.**

1115. W. ZEHENDER. *Anleitung zum Studium der Dioptrik des menschlichen A* Erlangen.

**1863.**

1116. F. C. DONDERS. *Bepaling van den brandpuntsafstand van lenzen.* Vers. Ned. G. v. No. 4. S. 99.

**1866.**

1117. A. WÜLLNER. *Einleitung in die Dioptrik des Auges.* Leipzig.

**1870.**

1118. F. E. REUSCH. *Constructionen zur Lehre von den Haupt- und Brennpunkten Linsensystems.* Teubner. Leipzig.

**1871.**

1119. HOCK. *Untersuchungen über die Gröfse der Bilder bei Combination zweier opt Systeme.* Arch. f. Ophthalm. XVII. 2. S. 131.

1120. V. LANG. *Zur Dioptrik eines Systems centrirter Kugelflächen.* Wien. Acad.

**1875.**

1121. J. HIRSCHBERG. *Zur Dioptrik des Auges. I. Die Brechung homocentrischer para Strahlenbündel in einem beliebigen centrirten System kugeliger Flächen.* Cent f. d. med. Wiss. S. 769.

**1876.**

22. J. Hirschberg. *Dioptrik der Kugelflächen und des Auges.* Reichert's u. du Bois' Arch. S. 587.

**1877.**

23. L. Matthiessen. *Grundrifs der Dioptrik geschichteter Linsensysteme.* Leipzig. 276 S.

**1878.**

24. J. Hirschberg. *Elementare Darstellung der Gauss'schen Dioptrik kugeliger Flächen.* Beitr z. prakt. Augenheilkde. 3. Heft. S. 30—35.

25. L. Matthiessen. *Ueber eine Methode der Berechnung der 6 Cardinalpunkte eines centrirten Systems sphärischer Linsen.* Schlömilch's Ztschr. f. Math. u. Phys. Bd. 22.

**1880.**

26. E. Abbe. *Ueber die Grenzen der geometrischen Optik. Mit Vorbemerkungen über die Abhandlung: „Zur Theorie der Bilderzeugung" von Dr. R. Altmann.* Sitzgs.-Ber. d. Jenaischen Ges. f. Med. u. Naturw. 23. Juli. 48 S.

27. R. Altmann. *Ueber die Vorbemerkungen des Herrn Prof. Abbe zu seinen „Grenzen der geometrischen Optik".* Arch. f. Anat. IV. S. 354—363.

28. — *Zur Theorie der Bilderzeugung.* Arch. f. Anat. (u. Physiol.) IV. 2. S. 111—184.

29. Hallstén. *Die dioptrische Fähigkeit in centrirten Systemen mit besonderer Rücksicht auf die dioptrische Fähigkeit und die Accommodationsbreite des Auges.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Phys. Abth. Heft 1 u 2.

**1881.**

30. K. Moser. *Die Grundformeln der Dioptrik.* Sitzgs.-Ber. d. k. böhm. Ges. d. Wiss. 1. April 1881. Prag.

**1885.**

31. W. v. Zehender. *Demonstration der Wirkung schief stehender sphärischer Linsen.* Ber. über d. 17. Vers. d. ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 232.

32. — *Ueber den Gang der Lichtstrahlen bei schräger Incidenz. Ueber aplanatische Brillengläser.* Ber. über d. 17. Vers. d. ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 29 u. 36.

**1886.**

33. S. Exner. *Ueber Cylinder, welche optische Bilder entwerfen.* Pflüger's Arch. XXXVIII. S. 217. Nachtrag. XXXIX. S. 244.

34. L. Matthiessen. *Ueber den Strahlendurchgang durch coaxial-continuirlich geschichtete Kreiscylinder für paraxiale Objecte (Facettenauge der Käfer).* Exner's Rep. d. Phys. XII.

**1887.**

35. H. Brockmann. *Beiträge zur Dioptrik centrirter sphärischer Flächen.* Diss. Rostock.

36. S. M. Burnett. *On some of the optical properties of spherical and cylindrical lenses placed obliquely to the incident pencils of light.* Americ. Journ. of Ophthalm. Vol. IV. S. 15 bis 20

37. C. Neumann. *Die Brillen, das dioptrische Fernrohr und das Mikroskop.* Wien. Hartleben. 1887. 95 Abb.

**1888.**

38. G. Furchtbauer. *Einige Eigenschaften der optischen Linse in Bezug auf Centralstrahlen.* Nürnberg. Ballhorn.

39. A. Harcher. *Optometer und Apparat zum Messen der Brennweiten und zum Centriren optischer Linsen.* Breslau. Aerztl. Zeitschr. X. S. 139.

40. L. Matthiessen. *Ueber ein merkwürdiges optisches Problem von Maxwell.* Exner's Rep. XXIV.

**1891.**

41. S. Finsterwalder. *Die von optischen Systemen grofserer Oeffnung und grofseren Gesichtsfeldes erzeugten Bilder. Auf Grund der Seidel'schen Formeln untersucht.* Abh. d. k. bayr. Akad. d Wiss. München. 71 S.

**1892.**

42. Ejgil Schmidt. *En Fremstilling af Theorien for centrerede optiske Systemer.* (Eine Darstellung der Theorie der centrirten optischen Systeme.) Nord. ophthalm. Tidsskr. V. S. 1.

**1893.**

43. S. Czapski. *Theorie der optischen Instrumente nach Abbe.* (S.-A. a. d. Handb. d. Physik v. A Winkelmann. Breslau. E. Trewendt. 292 S.

# § 10.

# Brechung der Strahlen im Auge.

## 1. Das optische System des Auges.

**Hier ist auch die in §§ 2, 3. s und 5 angegebene Litteratur zu beachten.**


**1575.**

1144. Fr. Maurolycus. *Photismi de lumine et umbra ad Perspectivam et radiorum incidentiam facientes Venetiis 1575.* Messinae 1613. — Eine spätere Gesammtausgabe seiner optischen Abhandlungen führt den Titel: Fr. Maurolycus, *Theoremata de lumine et umbra, ad Perspectivam et radiorum incidentiam facientia; Diaphanorum partes seu libri tres, in quorum primo de perspicuis corporibus, in secundo de Iride, in tertio de organi visualis structura et conspicillorum formis agitur: Problemata ad Perspectivam et Iridem pertinentia.* His accesserunt Christoph. Clavii e. S. J. notae. Lugduni. 1613.

**1583.**

1145. Jo. Bapt. Porta. *De refractione Optices parte libri novem.* Neapoli. Liber III—VIII.

**1602.**

1146. *Jo. Kepler. *Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur.* Francofurti. 1604. Kap. V.

**1611.**

1147. Kepler. *Dioptrice, seu demonstratio eorum, quae visui et visibilibus, propter conspicilla non ita pridem inventa, accidunt.* Augustae Vindelicorum 1611.

**1619.**

1148. C. Scheiner. *Oculus, sive fundamentum opticum.* Innspruck. 1619. London. 1652.

**1695.**

1149. Huygens († 1695). *Opera posthuma. Dioptrica.* Lugduni. 1704. S. 112.

**1759.**

1150. W. Porterfield. *A treatise on the eye.* Edinburg. Vol. I. Book 3. Chapt. 2*.

**1776.**

1151. J. Priestley. *Geschichte der Optik;* übers. von G. S. Klügel. Leipzig. (*Ältere Geschichte; Berechnung der Brennweite.* S. 465)*.

1152. Rumball. Ann. of Philos. II. 376.

**1813.**

1153. Andrew Horn. *The seat of vision determined.* London.

**1816.**

1154. N. Th. Mühlbach. *Inquisitio de visus sensu.* Vindobonae.

1155. Magendie. *Précis élémentaire de Physiologie.* Paris. I. S. 59.

**1817.**

1156. Campbell. Ann. of Philos. X. S. 17. — Dtsch. Arch. IX. S. 110.

1157. J. Read. Ann. of Philos. XV. S. 260.

**1823.**

1158. Purkinje. *Commentatio de examine physiologico organi visus et systematis cutanei.* Vratislaviae.

**1825.**

1159. C. J. Lehot. *Nouvelle Théorie de Vision.* Paris.

**1828.**

1160. G. R. Treviranus. *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge.* Bremen. 1828. Kap. I*.

1161. Muncke. Art. *Gesicht.* Gehler's physikalisches Wörterbuch; neu bearbeitet. Leipzig. IV. 2. S. 1364*.

**1830.**

1162. A. Hueck. *Das Sehen seinem äufseren Prozesse nach entwickelt.* Riga.

1163. Plagge. Hecker's Annalen. S. 404.

**1834.**

64. C. M. N. Bartels. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Berlin. 1834. S. 61.

**1836.**

65. A. W. Volkmann. *Untersuchung über den Stand des Netzhautbildchens.* Pogg. Ann. XXXVII. 342*.

66. — *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig. Kap. IV.

**1837.**

67. Joh. Mile. *Ueber die Richtungslinien des Sehens.* Pogg. Ann. XLII. S. 37 u. 235*

**1838.**

68. Volkmann. *Theorie zur Berechnung der Zerstreuungskreise des Lichts bei fehlerhafter Accommodation des Auges.* Pogg. Ann. XLV. S. 207*. (Erwiderung gegen den Vorigen.)

**1839.**

69. Gerling. *Ueber die Beobachtung von Netzhautbildern.* Pogg. Ann. XLVI. S. 243*.

70. Knochenhauer. *Ueber die Richtungsstrahlen oder Richtungslinien beim Sehen.* Pogg. Ann. XLVI. S. 248*.

**1841.**

71. A. Burow. *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges.* Berlin. S. 16—93*.

**1842.**

72. L. L. Vallée. Compt. Rend. XIV. S. 481.

73. W. Stamm. *Ueber Volkmann's Richtungslinien des Sehens.* Pogg. Ann. LVII. S. 346*.

**1843.**

74. A. W. Volkmann. J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 9 (gegen Burow).

**1844.**

75. *L. Moser. *Ueber das Auge.* Dove's Repert. d. Physik. S. 337—349*.

**1845.**

76. J. B. Listing. *Beitrag zur physiologischen Optik.* Göttingen (abgedr. aus d. Göttinger Studien). S. 7—21*.

77. L. L. Vallée. Compt. Rend. XX. S. 1338. — Institut. No. 393. S. 166.

**1846.**

78. *A. W. Volkmann. Art. *Sehen* in R. Wagner's Handwörterb. d. Physiol. III. 1. S. 281—290*.

**1847.**

79. F. C. Donders. *Hollandische Beiträge zu den anat. u. physiol. Wissensch.* I. S. 107—112*.

**1849.**

80. J. D. Forbes. *Note respecting the dimensions and refracting power of the eye.* Proc. Edinb. Roy. Soc. Decbr. 3. S. 251 — Silliman Journ. (2.) XIII. S. 413.

**1851.**

81. *J. B. Listing. Art. *Dioptrik des Auges* in R. Wagner's Handwörterb. d. Physiol. IV. S. 451—504*.

**1852—1861.**

182. L. L. Vallée. *Théorie de l'œil.* Compt. Rend. XXXIV. S. 321—323, 718—720, 720—722, 789—792, 872—876; — XXXV. S. 679—681; — LI. S. 678—680, — LII. S. 702—703, 1020—1021. Mém des savants étrangers. XII. S. 204—264, XV. S. 98—118, 119 bis 140.

**1855.**

183. H Helmholtz. *Ueber die Accommodation des Auges.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. I. 2. S. 1—74*.

**1856.**

184. W Zehender. *Anleitung zum Studium der Dioptrik des menschlichen Auges.* Erlangen.

**1858.**

185. N Lubimoff. *Recherches sur la grandeur apparente des objets.* Compt. Rend. XLVII. S. 24—27. — Ann. de chim (3.) LIV. S. 13—27.

**1859.**

186. J. H. Knapp. *Die Krümmung der Hornhaut des menschlichen Auges.* Habilitationsschrift. Heidelberg. — Arch. f. Ophthalm. VI. 2. S. 1—52

1860.

1187. Breton. *Note sur une propriété du cristallin de l'œil humain.* Compt. Rend. L. S. 498—499.

1861.

1188. v. Jäger. *Ueber die Einstellung des dioptrischen Apparates im menschlichen Auge.* Wien.

1864.

1189. Giraud-Teulon. *Nouvelle étude de la marche des rayons lumineux dans l'œil. Rôle de chacun des milieux dioptriques.* Ann. d'Ocul. LI. S. 145.

1190. F. C. Donders. *On the anomalies of accommodation and refraction of the eye.* London. S. 38—71.

1865.

1191. L. Mandelstamm. *Zur Ophthalmometrie.* Arch. f. Ophthalm. XI. (2.) S. 259.

1192. B. Rosow. *Zur Ophthalmometrie.* Arch. f. Ophthalm. XI. (2.) S. 129.

1866.

1193. J. F. B. Polaillon. *Des milieux réfringens de l'oeil.* Paris.

1868.

1194. Giraud-Teulon *Desiderata existant encore dans les éléments de construction de l'oeil schématique.* Ann. d'Ocul. LX. S. 97.

1869.

1195. Berlin. *Ueber den Einfluſs starker Convexgläser auf das excentrische Sehen.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 361.

1196. E. v. Brücke. *Ueber asymmetrische Strahlenbrechung im menschlichen Auge.* Wien. Ber. LVIII. 2. S. 321—329.

1197. Reuss u. Woinow. *Ophthalmometrische Studien.* Wien.

1198. Woinow. *Ophthalmometrie. Messungen der Linse.* Klin. Mon.-Bl. VII. S. 4??.

1870.

1199. R. E. Dudgeon. *Contribution to the Dioptrics of vision.* Nature. Decbr. 15.

1200. H. Knapp. *Ueber den Einfluſs der Brillen auf die optischen Constanten und die Sehschärfe des Auges.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. I. S. 152.

1201. M. Woinow. *Kritische Analyse der ophthalmometrischen Methode der Bestimmung der dioptrischen Elemente des Auges.* Inaug.-Diss. Moskau. (Russisch.) 1871 in Moskau französisch erschienen.

1202. H. Zinken-Sommer. *Untersuchungen über die Dioptrik des Linsensystems.* Braunschweig.

1871.

1203. L. Hermann. *Notizen für Vorlesungen und andere Versuche. II. Zur Demonstration des Netzhautbildes am albinotischen Kaninchenauge.* Pflüger's Arch. Bd. 4. S. 210.

1872.

1204. G. Borel. *Des lunettes après l'opération de la cataracte.* Rouen.

1205. Giraud-Teulon. *Nécessité, préalable à toute observation optique, d'une détermination exacte des constances dioptriques dans notre propre oeil.* Ann. d'Ocul. LXVIII. S. 56.

1206. Heuse. *Ueber die Beobachtung einer neuen entoptischen Erscheinung.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (2.) S. 236.

1207. Gama Lobo. *Neue Methode zur Messung des Abstandes der hinteren Linsen- von der vorderen Hornhautfläche.* Klin. Mon.-Bl. X. S. 288.

1208. L. Mandelstamm u. H. Schöler. *Eine neue Methode zur Bestimmung der optischen Constanten des Auges.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. S. 155.

1209. L. Mauthner. *Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges.* I. Theil. Wien. Braumüller.

1210. Woinow. *Zur Lehre über den Einfluſs der optischen Gläser auf die Sehschärfe.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 349.

1873.

1211. H. Kiessling. *Die Brechung der Lichtstrahlen im Auge.* Hamburg. 33 S.

1212. E. Landolt. *Axenlänge und Krümmungsradius des Auges.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XI. S. 473—481.

1213. Landolt u. Nuël. *Versuch einer Bestimmung des Knotenpunktes für excentrisch in das Auge fallende Lichtstrahlen.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (3.) S. 301.

**1874.**

14. O. Becker. *Demonstration und Erklärung einiger Instrumente.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XII. S. 408—422.
15. L. Hermann. *Ueber schiefen Durchgang von Strahlenbündeln durch Linsen und eine darauf bezügliche Eigenschaft der Krystalllinse.* Gratulationsschrift von C. Ludwig. Zürich. — Pogg. Ann Bd. 153. S. 470.
16. J. Hirschberg. *Ueber Prof. Laqueur's Ophthalmomikrometer und über eine objective Methode zur Messung des totalen Brechungsvermögens der Krystalllinse und der Axenlänge des lebenden Auges.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 49.
17. — *Ueber eine objective Methode zur Messung der Hauptbrennweiten der Krystalllinse und der Axenlänge des lebenden Auges.* Wien. med. Presse. XV. No. 45.
18. Landolt en Nuel. *Proeven ter bepaling van het knooppunt voor excentrisch in het oog vallende Lichtstrahlen.* Onderzoekingen in het Physiol. Laborator. te Utrecht. Derde Reeks. III. S. 1.
19. L. Mauthner. *Das schematische Auge.* Wien. med. Wochenschr. S. 173.
20. M. Reich. *Resultate einiger ophtalmometrischer und mikrooptometrischer Messungen.* Graefe's Arch. XX. (1.) S. 207.
21. W. Stammeshaus. *Ueber die Lage der Netzhautschale zur Brennfläche des dioptrischen Systems des menschlichen Auges.* Arch f. Ophthalm. XX. (2.) S. 147—170.

**1876.**

22. J. Bernstein. *Ueber die Ermittelung des Knotenpunktes im Auge des lebenden Menschen.* Berl. Akad. Ber. 7. Aug. 1876. S. 509.
23. Boettcher. *Ueber Dioptrik des Auges.* Diss. Berlin.
24. J. Hirschberg. *Zur Dioptrik des Auges. II. Die Länge des emmetropischen Auges.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XIV. S. 40.
25. — *Optische Notizen.* Arch. f. Anat. u. Physiol u. wiss. Med. Jahrg. 1876. S. 622 bis 629.
26. L. Matthiessen. *Ueber den Aplanatismus der Hornhaut.* Graefe's Arch. Bd. 22.
27. — *Formeln zur Berechnung der Cardinalpunkte des Auges.* Physiol. Optik von Aubert. S. 404 -406. Schlömilch's Zeitschr. f. Math. u. Phys. XXI.
28. — *Ueber die Berechnung des absoluten Brechungsvermögens des Kerncentrums der Krystalllinse.* Gräfe's Arch. Bd. 22.
29. L. Mauthner. *Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges.* II. Teil. Wien. Braumüller.
30. J. F. Schroeter. *Zur Dioptrik des menschlichen Auges.* Diss. Berlin.
31. W. Stammeshaus. *Darstellung der Dioptrik des normalen menschlichen Auges.* Oberhausen. Spaarmann. 240 S.
32. G. J. Witkowski. *Appareil de la vision.* Paris.

**1877.**

33. Badal. *Distance du centre optique de l'oeil au sommet de la cornée.* Soc. de biol. 21. April. Gaz. d. hôp. S. 374. — Gaz. Méd. de Paris. S. 225.
34. L. Happe. *Das dioptrische System des Auges in elementarer Darstellung.* Berlin.
35. J. v. Hasner. *Zur Dioptrik des Auges.* Centralbl. f. pr. Augenhlkde. S. 37—39.
36. Levi. *Ueber den Einfluſs der Entfernung der Convexlinsen vom Auge.* Ann. di Ottalm. 1877.
37. L. Matthiessen. *Grundriſs der Dioptrik geschichteter Linsensysteme.* Leipzig 276 S.
38. A. v. Reuss. *Untersuchungen über die optischen Constanten ametropischer Augen.* Graefe's Arch. Bd. XXIII. (4. S. 183—268.
39. W. Roder. *Ueber Kapseldurchschneidungen und dadurch bedingte Krümmungsveränderungen der menschlichen Hornhaut.* Arch. f. Ophthalm. XXIII. 4.) S. 29—56.

**1878.**

40. Badal. *Un oeil artificiel pour essais optométriques et ophthalmoscopiques.* Gaz. Méd. de Paris No. 10. S. 123
41. L. Happe. *Das reducirte Auge.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 182—184.
42. J. v. Hasner. *Das reducirte Auge.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 31.
43. — *Erwiderung auf den Artikel Das reducirte Auge. von Herrn Happe.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 182 184.
44. — *Ueber das reducirte Auge.* Arch f. Augen- u. Ohrenheilkde. VII. S. 1—9.
45. — *Die Gröſsenwerthe des Auges.* Prag med. Wochenschr. 1878. No. 9.

1246. L. Hermann. *Ueber Brechung bei schiefer Incidenz mit besonderer Berücksichtigung des Auges.* Arch. f. d. ges. Phsiol. XVIII. S. 443—454.
1247. A. Nagel. *Die Bestimmung der Sehaxenlänge am lebenden Auge.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 100—102, 121—123.
1248. L. Mandelstamm. *Ectopia lentis mit berechneter Länge der Augenaxe.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XVI. S. 123.
1249. M. Peschel. *Ueber den Astigmatismus des indirecten Sehens.* Pflüger's Arch. Bd. 18. S. 504.
1250. Pflüger. *Phakometer. Chiastometer.* Beil. z. Augusth. d. Centr.-Bl. f. prakt. Augenheilkde. S. 10—12. — Beil. z. Zehender's klin. Mon.-Bl. S. 46—53.
1251. L. Weiss. *Beitrag zur Dioptrik des Auges.* Berlin.

1879.

1252. A. Fick. *Dioptrik des Auges.* Handb. d. Physiol., hersg. v. L. Hermann. III. 1 S. 3—138.
1253. — *Zur Periscopie des Auges.* Pflüger's Arch. Bd. 19. S. 145.
1254. v. Hasner. *Das mittlere Auge in seinen physiologischen und pathologischen Beziehungen.* Prag. Calve. 117 S.
1255. L. Hermann. *Ueber Brechung bei schiefer Incidenz mit besonderer Berücksichtigung des Auges.* Arch. f. d. ges. Physiol. XX. S. 370—387.
1256. L. Matthiessen. *Die Differentialgleichungen der Dioptrik continuirlich geschichteter Linsen und ihre Anwendung auf die Dioptrik der Krystalllinse.* Schlömilch's Zeitschr. f. Math. u. Phys. Bd. 24. 5. S. 304—315.
1257. — *Die Differentialgleichungen der Dioptrik der geschichteten Krystalllinse.* Pflüger's Arch. Bd. 19. S. 480—562.
1258. — *Ueber die geometrische Gestalt der theoretischen Retina des periskopischen schematischen Auges.* Arch. f. Ophthalm. XXV. (2) u. (4).
1259. L. Mauthner. *Fernpunkt, Brillenlehre, Nahepunkt und Accommodationsbreite, Binocularsehen, Optische Fehler (Astigmatismus).* Wiesbaden. Bergmann.
1260. M. Peschel. *Experimentelle Untersuchungen über die Periskopie der Krystalllinse.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XX. S. 338—353.
1261. — *Berechnung der Cardinalpunkte des Auges.* Centralbl. f. Augenheilkde. III. S. 201—202.
1262. Rasmus u. Wauer. *Mathematische Theorie der Periskopie des menschlichen Auges.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XX. S. 264—282.
1263. ScHön. *Bemerkungen über die Dioptrik der Krystalllinse und die Periskopie des Auges.* du Bois-Reymond's Arch. f. Physiol. 1879. Suppl.-Bd. S. 136—166.
1264. G. Weisker. *Die optischen Fehler des Auges. I.* Schulprogr. Rathenow.

1880.

1265. Crouzebois. *Sur la grandeur et les [illegible] des images de Purkinje.* Comp. Rend. Bd. 92. S. 73—76.
1266. A. v. Reuss. *Ophthalmometrische Mittheilungen.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. 3. [illegible]

1881.

1267. L. Matthiessen. *[illegible] den Astigmatismus [illegible] die Periscopie [illegible]* [illegible] Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. [illegible] S. 287
1268. — [illegible] Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 25. S. 19[illegible]
1269. [illegible] Schlömilch's Ztschr. f. Math. u. Phys. Bd. [illegible]
[illegible] Lewis
[illegible] Dict. encycl. des sc. méd. Paris XVI S. 4[illegible]
[illegible] Centralbl. [illegible]
[illegible] Wiesbaden. S. 125—13[illegible]
[illegible] Arch. f. [illegible] X [illegible]

1882.

75. L. Forbes. *Eine neue Form des schematischen Auges.* Arch. f. Augenheilkde. S. 328.
76. L. Hermann. *Ueber Brechung bei schiefer Incidenz mit besonderer Berücksichtigung des Auges.* Arch. f. d. ges. Physiol. XXVII. S. 291.
77. J. Hirschberg. *Refraction.* Eulenburg's Real-Encykl. d. ges. Heilkde.
78. — *Zur Dioptrik und Ophthalmoskopie der Fisch- und Amphibienaugen.* du Bois' Arch. S. 493.
79. L. Matthiessen. *Die zwanzig Cardinalpunkte des menschlichen Auges.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 154.
80. — *Ueber die Beziehungen, welche zwischen dem Brechungsindex des Kerncentrums der Krystalllinse und den Dimensionen des Auges bestehen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 27. S. 510.
81. Parent. *Comment sont refractés les rayons tombant obliquement sur l'œil?* Rec. d'Ophthalm. S. 220.

1883.

82. L. Matthiessen. *Ueber den schiefen Durchgang unendlich dünner Strahlenbündel durch die Krystalllinse des Auges.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 32. S. 97.
83. — *Differentialgleichungen in der Dioptrik der continuirlich geschichteten kugelförmigen Krystalllinse der Fische.* Schlömilch's Zeitschr. f. Math. u. Phys. Bd. 28.
84. — *Ueber die Form astigmatischer Bilder sehr kleiner gerader Linien bei schiefer Incidenz der Strahlen in ein unendlich kleines Segment einer brechenden sphärischen Fläche.* Arch. f. Ophthalm. XXIX. (1.) S. 147.
85. P. Moennich. *Ueber den physikalisch-optischen Bau des Rindsauges.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. II. S. 1—30. — Sep. Leipzig.
86. H. F. Newall. *Internal reflexions in the eye.* Proc. Roy. Soc. XXXIV. S. 473—480.
87. G. Weisker. *Die optischen Fehler des Auges. II.* Progr. d. höher. Bürgerschule Rathenow. 18 S.

1884.

88. G. Hartridge. *The Refraction of the eye.* London. 1884. 212 S.
89. L. Matthiessen. *Ueber den physikalisch optischen Bau des Lowenauges.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 35. S. 68.
90. — *Ueber die radiale Ausdehnung des Sehfeldes und die Allometropie des Auges bei indirectem Sehen.* Graefe's Arch. Bd. 30 (1.) S. 91.
91. H. Scholer. *Bestimmung des physikalischen Baues des Auges.* Graefe's Arch. Bd XXX. (3. S. 301.
92. W. Schön. *Beiträge zur Dioptrik des Auges.* Leipzig. 1884. 114 S.
93. H. Westien. *Mittheilungen aus dem physiologischen Institut der Universität Rostock über den Gang der Lichtstrahlen in der accommodirten und ruhenden Linse und durch die Ophthalmometerplatten.* Zeitschr. f. Instrumentenkde. Klin. Monatsbl f. Augenheilkde. S. 217.

1885.

94. L. Howe. *Arrangement for the demonstration of refraction and accommodation.* Americ. ophthalm Soc. Americ. Journ of Ophthalm S. 149.
95. L. Matthiessen. *Ueber Begriff und Auswerthung des sog. Totalindex der Krystalllinse* Pflüger's Arch. Bd. 36. S. 72.
96. — *Ueber den physikalisch-optischen Bau des Auges der Vogel* Pflüger's Arch Bd. 38. S. 104.

1886.

97. J. Egorow. *Ueber den Knotenpunkt des Auges.* (Russisch.) Diss. Kasan.
98. G. Hartridge. *The refraction of the eye.* 2. Aufl. London. A. Churchill.
99. L. Howe. *An apparatus for the demonstration of accommodation and refraction.* Arch. of Ophthalm. XV. No 3.
100. C. Landsberg. *Zur Dioptrik des Auges und der Augengläser* Centralztg. f. Opt. u. Mech. VII. S. 241—245, 253—257, 270—272, 277—282.
101. W. Lang u. Barret. *The refractive character of the eyes of mammalia.* Ophthalm. hosp Rep. XI. Juli
102. L. Matthiessen. *Ueber den physikalisch-optischen Bau des Auges der Cetaceen und der Fische* Pflüger's Arch. XXXVIII. S 512—528 XXXIX. S 204.
103. — *Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. Bd IV. S. 1.

**1887.**

1304. A. G. Heyl. *The visual axis.* Transact. of the IX. Internat. med. Congr. at Washington. III. — Amer. Journ. of Ophthalm. S. 269.
1305. L. Matthiessen. *Ueber den physikalisch-optischen Bau des Auges von Cervus alces mas.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 40. S. 314.
1306. — *Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. Bd. V. S. 21 u. 97.
1307. P. Moennich. *Neue Untersuchungen über das Lichtbrechungsvermögen der geschichteten Krystalllinse der Vertebraten.* Habilit.-Schr. — Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 397.

**1888.**

1308. J. B. Emerson. *A schematic eye for students of ophthalmoscopy.* Post Graduate. New-York 1888/89. S. 46.
1309. A. Klingsberg. *Ueber den physikalischen Bau des Auges der Hauskatze.* Arch. d. Freunde d. Naturgesch. in Mecklenburg. Güstrow. Opitz.
1310. Pedrazzoli. *Presentazione di un apparecchio schematico per la dimostrazione della refrazione statica.* Ann. di Ottalm. XVII. S. 252.
1311. J. Oscroft-Tansley. *A new instrument for demonstrating refraction of the eye.* Amer. Journ. of Ophthalm. S. 311
1312. Tscherning. *Bidrag til det menneskelige öjesdioptrik.* (*Beiträge zur Dioptrik des menschlichen Auges.*) Nord. oftalm. Tidsskr. I. S. 53.
1313. — *Étude sur la position du cristallin de l'œil humain.* Compt. Rend. Bd. 106. No. 16. S. 1185.

**1889.**

1314. G. Hartridge. *The refraction of the eye.* London. 3. ed.
1315. A. Kurz. *Das Auge und die allgemeine Linse.* Exner's Rep. XXV. S. 755—761.
1316. — *Das schematische Auge des Menschen.* Exner's Rep. XXV. S. 587—593.
1317. L. Matthiessen. *Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse. Kap. II. Die peripherische Dioptrik für paraxiale Objecte.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VI. S. 118.
1318. Tscherning. *Position du cristallin dans l'œil humain.* Compt. Rend. de la VII. réun. de la Soc. franç. d'Ophthalm. Rév. gén. S. 350.

**1890.**

1319. G. Hartridge. *The refraction of the eye.* Fourth edition. Philadelphia. Blakiston.
1320. J. Hirschberg. *Diabetische Kurzsichtigkeit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. 14. Jahrg. S. 7—8.
1321. J. Kiessling. *Zur Erklärung des Sehens mit bewaffnetem Auge.* Festschr. d. Hamb. mathem. Ges. z. 200jähr. Jubelfest. S. 125—128.
1322. C. Koller. *Elimination of the cornea and its effect upon the refraction of the eye.* Americ. Journ. of Ophthalm. Juli.
1323. L. Matthiessen. *Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse.* 3. Folge. Wiesbaden. Bergmann.
1324. P. Pierini. *Saggio di appunti critici di ottica fisiologica.* Giorn. d. Reale Accad. di Med. No. 11 u. 12.

**1891.**

1325. F. van Fleet. *The normal refraction of the eye.* Med. Rec. (New-York) 15. Decbr. S. 682—684.
1326. L. Matthiessen. *Ueber den physikalisch-optischen Bau des Auges der norwegischen Barten- oder Finwale.* Pflüger's Arch. XLIX. S. 549—562.
1327. — *Die neueren Fortschritte in unserer Kenntniſs von dem optischen Bau des Auges der Wirbelthiere.* Beitr. z. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. Helmholtz-Festschr. S. 49—112. (Auch separat erschienen. Hamburg, L. Voss.)
1328. A. Morton. *Refraction of the eye.* 4. ed. London. Lewis.
1329. J. Musgrove. *De la force réfringente de la cornée, de l'ophthalmométrie et du cylindre correcteur de l'astigmatisme cornéen.* Rev. gén. d'ophthalm. X S. 193—219.
1330. F. Ostwalt *Einige Worte über Gläsercorrection bei Aphakie.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXIX. S. 283.
1331. — *De la force réfringente de la cornée, de l'ophtalmométrie et du cylindre correcteur de l'astigmatisme cornéen.* Rev. gén. d'ophthalm. No. 5 u. 6.
1332. M. Tscherning. *Recherches sur la quatrième image de Purkinje.* Arch. de Physiol. 5. sér. T. III. S. 96—107.

33. — *Théorie des images de Purkinje et description d'une nouvelle image.* Arch. de Physiol. 5. sér. T. III. S. 357—372.

34. — *Sur une image à la fois catoptrique et dioptrique de l'œil humain et une nouvelle méthode pour déterminer la direction de l'axe optique de l'œil.* Bull. de la Soc. Française de l'ophthal. S. 203.

1892.

35. Sw. M. Burnett. *The general form of the human cornea and its relation to the refraction of the eye and visual acuteness.* Americ. Journ. of Ophthalm. August. Transact. of the Americ. ophthalm. soc. S 316.

36. Knoepfler. *Contribution clinique à l'étude de la position du cristallin dans l'œil humain à l'état de repos et d'activité de l'accommodation.* Rev. méd. de l'Est. 15. Juni.

37. G. Martin. *Valeur réfractaire du cristallin chez les myopes.* Rev. gén. d'ophthalm. XI S. 22—23.

38. L. Matthiessen. *Die zweiten Purkinje'schen Bilder im schematischen und im wirklichen Auge.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 280—296.

39. F. Ostwalt. *Auch noch einmal die Gläsercorrection bei Aphakie.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXX. S. 178—181.

40. M. Tscherning. *Beiträge zur Dioptrik des Auges.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 429—492.

41. — *Les images catoptriques de l'œil humain.* Compt. Rend de la Soc. de Biol. 23. Juli. S. 688.

1893.

42. E. Baquis. *Sopra il fenomeno endoptico di Heuse. Appunti critici e nuova interpretazione.* Ann. di Ottalm. Anno XXII. S. 471.

43. A. Klingberg. *Beiträge zur Dioptrik der Augen einiger Hausthiere.* 3. Theil. Progr. Güstrow. 18 8.

44. L. Matthiessen. *Ueber den physikalisch-optischen Bau der Augen vom Knölwal (Megaptera boops. Fabr.) und Finnwal (Balaenoptera musculus Comp.)* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 77—102.

45. — *Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse.* (Vierte Folge.) Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 102—189.

46. H. Parent. *Exposé élémentaire de la dioptrique oculaire.* Arch. d'Ophthalm. XIII. 3. S. 145—167.

47. Tscherning. *Les sept images de l'oeil humain* Journ. de phys. 3.) Bd. II. S. 118—126.

48. E. Vitali. *Occhio diottrico.* Ann. di Ottalm. XXII. S. 219

1894.

49. H. Bordier. *Modifications de la grandeur des images rétiniennes par les verres correcteurs dans les différentes amétropies.* Arch. d'Ophthalm. XIV. S. 279—297.

50. G Hartridge. *The refraction of the eye.* London. Churchill.

51 F. Lagrange. *De l'égalité des images rétiniennes dans l'amétropie axile corrigée et dans l'emmétropie: nouvelle démonstration élémentaire.* Ann. d'Ocul. CXI. S. 81

52 — *De l'égalité des images rétiniennes dans l'amétropie axile corrigée et dans l'emmétropie. (Note complémentaire.)* Ann. d'Oculist. Bd. CXI. S. 279.

53. F. Smith. *The refractive character of the eyes of horses.* London. Roy. Soc. Bd. 55 No. 334 S. 414.

54. A. Steiger. *Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Hornhautrefraction.* Arch. f. Augenheilkde. XIX. S. 98—111

55. — *Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Hornhautrefraktion.* 1. Theil. Wiesbaden. J. F. Bergmann. 135 S.

56. M. Tscherning. *Un reflet intra-oculaire* Arch de Physiol. 5. VI S. 158—163.

## 2. Messung der Brechungsverhältnisse.

Die meisten dieser Bestimmungen sind in den im unmittelbar vorhergehenden Abschnitt des Paragraphen angeführten Abhandlungen enthalten Ferner finden sich solche in

1710.

57 Hawksbee. *Apparatus for making experiments on the refraction of fluids* Philos Transact. 1710. S. 204

1785.

58. A. Monro *On the structure and physiology of fishes.* S 60

**1801.**

1359. Th. Young. *On the mechanism of the eye.* Philos. Transact. 1801. I. 40*.

**1813.**

1360. D. Brewster. *A Treatise on new philosophical Instruments.* Edinburgh. S. [illegible]

**1818.**

1361. Chossat. *Sur le pouvoir réfringent des milieux de l'oeil.* Ann. de chim. et de phys. VIII. S. 217. — Bulletin des sc. par la Soc. philomat. de Paris. Juin S. 294.

**1819.**

1362. D. Brewster. Edinb. Philos. Journ. No. 1. S. 47.

**1840.**

1363. Cahours et Becquerel. *Sur le pouvoir réfringent des liquides.* Ann. de chim. et phys. XI. — Institut. S. 399.

**1847.**

1364. S. Pappenheim. Compt. Rend. XXV. 901. — Arch. d. sc. phys. et nat. VII. S. [illegible]

1365. Quesnel. Rev. scientif. XXXII. S. 144.

**1849.**

1366. Bertin. *Sur la mesure des indices de réfraction des lames transparents et des liquides à l'aide du microscope ordinaire.* Ann. de chim. et de phys. XXVI. S. 288. — Compt. Rend. XXVIII. S. 447. — Institut. No. 796. S. 105. — Arch. d. sc. phys. et nat. XII. S. 45. — Pogg. Ann. LXXVI. S. 611.

**1850.**

1367. Engel. *Zur Physik des Auges.* Prag. Vierteljahrsschr. f. prakt. Heilkde. I. S. [illegible]

1368. H. Mayer. Prag. Vierteljahrsschr. f. prakt. Heilkde. IV. Beilage u. 1851. IV. S. [illegible]

**1852.**

1369. Ryba. *Prüfung des Brechungsverhältnisses durchsichtiger Körper.* Prag. Viertel-jahrsschr. II. S. 95.

**1855.**

1370 W. Krause. *Die Brechungsindices der durchsichtigen Medien des menschlichen Auges.* Hannover. 1855*.

**1857.**

1371. W. Zehender. *Ueber die Brewster'sche Methode zur Bestimmung der Brechungs-exponenten flüssiger und festweicher Substanzen.* Arch. f. Ophthalm. III. (2). S. 99.

**1869.**

1372. E. v. Cyon. *Die Brechungsquotienten des Glaskörpers und des Humor aqueus.* Wien. Ber. LIX. 2. S. 101—103. (Aufgenommen in: Gesammelte Abhdlgn. Berlin. 1888. S. 245.) — Arch. de physiol. 1869. S. 555.

**1872.**

1373. S. Fleischer. *Neue Bestimmung der Brechungsexponenten der durchsichtigen flüssigen Medien des Auges.* Inaug.-Diss. Jena.

**1873.**

1374. E. Landolt. *Axenlänge und Krümmungsradius des Auges.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XI. S. 473—481.

**1874.**

1375. E. Abbe. *Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungs-vermögens fester und flüssiger Körper.* Jena.

1376. E. v. Cyon. *Ueber den Brechungsindex der flüssigen Augenmedien.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 50. S. 785.

1377. J. Hirschberg. *Ueber Bestimmung der Brechungsindices der flüssigen Medien des menschlichen Auges.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 13.

1378. — *Zur Brechung und Dispersion der flüssigen Augenmedien.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 52.

1379. — *Ueber das Brechungsverhältniß der flüssigen Medien des menschlichen Auges.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. IV. S. 45.

1380. Woinow. *Ueber die Brechungscoefficienten der verschiedenen Linsenschichten.* Briefl. Mitth. in Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. Jahrg. XII. S. 407.

**1877.**

1381. W. Zehender und L. Matthiessen *Ueber die Brechungscoefficienten cataractöser Linsensubstanz.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XV. S. 239—257.

**1879.**

82. Valentin. *Ein Beitrag zur Kenntnifs der Brechungsverhältnisse der Thiergewebe.* Arch. f. Physiol. XIX. S. 78—105. XX. S. 283—314.

83. W. Zehender, L. Matthiessen und O. Jacobsen. *Ueber die Brechungscoefficienten und die chemische Beschaffenheit cataractöser Linsensubstanz.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XVII. 307—317. — Ber. üb. d. XII. Vers. d. Ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 189.

**1885.**

84. L. Matthiessen. *Ueber das Gesetz der Zunahme der Brechungsindices innerhalb der Krystalllinse der Säugethiere und Fische.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXI. (2.) S. 31—34.

**1891.**

85. H. Bertin-Sans. *Influence de l'âge sur les indices de réfraction des différentes couches du cristallin.* Arch. d'ophthalm. XI. S. 289.


## 3. Das Gesichtsfeld und die Perimeter.

Man beachte auch die in § 28 angegebene Litteratur.


**1855.**

86. A. v. Graefe. *Ueber die Untersuchung des Gesichtsfeldes bei amblyopischen Affectionen.* Arch. f. Ophthalm. II. (2.) S. 258.

**1861.**

87. M. Korn. *De retinae vi sentiendi ejusque finibus.*

**1867.**

88. Forster. *Ueber Gesichtsfeldmessungen.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. V. S. 293.

89. Wecker. *Ein neuer Gesichtsfeldmesser.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. V. S. 275.

90. — *Le mensurateur du champ de la vision.* Rev. méd. I. S. 362.

91. — *Horatometer oder Gesichtsfeldmesser.* Bull. de l'Acad. de méd. XXII. S. 546.

**1868.**

92. Forster. *Mensurations du champ visuel monoculaire.* Ann. d'Ocul. LIX. S. 5.

**1869.**

93. Forster. *Das Perimeter.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 411.

94. Moser. *Das Perimeter und seine Anwendung.* Inaug.-Diss. Breslau.

**1870.**

95. Heymann. *Ueber einige neue Methoden der Gesichtsfeldprüfung.* Jahresber. d. Ges. f. Natur- u. Heilkde. in Dresden. Juni 1869 bis Mai 1870. S. 66

96. Uschakoff. *Ueber die Grofse des Gesichtsfeldes bei Augen mit verschiedener Refraction.* Arch. f. Anat. S. 454.

**1871.**

97. Landolt. *Il Perimetro e la sua applicazione.* Ann. d'Ottalm. I. S. 1

98. Reich. *Matériaux servant à définir les limites du champ visuel etc.* Inaug.-Diss. St. Petersburg.

**1872.**

99. B. Carter. *Ein neues Perimeter.* Klin. Mon.-Bl. X. S. 282.

00. W. Dobrowolsky. *Zur Lehre von der Grofse des Gesichtsfeldes.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 159—163.

01. Scherk. *Ein neuer Apparat zur Messung des Gesichtsfeldes.* Klin. Mon.-Bl. S. 151.

**1873.**

02. W. Schön. *Die Lehre vom Gesichtsfelde.* Klin. Mon.-Bl. 1873. S. 171

**1874.**

03. A. Schenkl. *Ein Beitrag zur Sehfeldbestimmung.* Vierteljahrsschr f. prakt. Heilkde. CXXIII XXXI. 3. S. 77.

04. Schön. *Die Lehre vom Gesichtsfeld und seine Anomalien.* Berlin 150 S.

05. P. Schröter. *Zur Gesichtsfeldmessung.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XII. S. 39—43.

**1875.**

06. J. Hirschberg. *Zur Gesichtsfeldmessung.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. IV. 2. S. 268—272.

07. F. Pauli. *Beiträge zur Lehre vom Gesichtsfelde.* München

**1877.**

1408. Badal. *Perimètre portatif et Schémographe.* Bull. mens. de la clinique d[i]
Paris. Delahaye. S. 11—14.

1409. F. C. Donders. *Die Grenzen des Gesichtsfeldes in Beziehung zu denen der* N
Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (2.) S. 255—280. — XVIII. j. verl.
gasth. etc. S. 1—26. — Utrecht'sche Onderzoek. 3 reeks. IV. S. 325—350.

1410. — *Over de grenzen van het gezigtsveld, in verband met die van het*
K. Akad. van Wet. te Amsterdam. Afd. Naturkde. 27. April. S. 3.

1411. Doucet. *Der l'exploration du champ visuel.* Thèse de Paris.

1412. R. Förster. *Gesichtsfeldmessung bei Anästhesie der Netzhaut.* Beil. z.
Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 162—166. — Beil. z. Septemberhft. d. Cent
prakt. Augenheilkde. S. 28

1413. Grossmann und Mayerhausen. *Beitrag zur Lehre vom Gesichtsfelde bei*
*thieren.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (3.) S. 217—240.

1414. — *Bepaling betrekkelijk het gezichtsveld bij eenige zoogdieren.* XVIII. j
Nederl. gasth. etc. S. 27—50. Onderzoek. 3. reeks. IV. S. 351—374.

1415. H. Liévin. *Ueber die Gröfse und Begrenzung des normalen Gesichtsfeldes.*

1416. J. Stilling. *Notiz über einen neuen Perimeter.* Centralbl. f. prakt. Augenh
S. 105—107.

**1879.**

1417. H. Wilbrand. *Das Verhalten der Gesichtsfelder beim angeborenen Nystagm*
*dem Nystagmus der Bergleute* Zehender's kl. Mon.-Bl. April 1879.

**1880.**

1418. A. Critchett. *Chart for Measuring the Field of Vision.* Pickard and
London.

1419. D. de la Vigerie. *Le champ visuel et sa valeur clinique.* Thèse de Paris.

**1881.**

1420. A. Critchett. *Chart for measuring the field of vision.* Brit. med. Journ. I
S. 9.

1421. Mc. Hardy. *An improved self-registering perimeter.* Ophthalm. Rev. I. S. 1
Lancet. (1882) I. No. 4.

1422. Wernicke. *Ueber eine gröfsere Anzahl von Gesichtsfeldaufnahmen.* Du
Reymond's Arch. S. 171.

**1882.**

1423. M. Blix. *Ein selbst registrierendes Perimeter.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. April

1424. E. Emmert. *Die Gröfse des Gesichtsfeldes in Beziehung zur Accommodation.*
f. Augenheilkde. XI.

1425. Hosch. *Ueber Gesichtsfeldmessung.* Corresp.-Bl. f. schweiz. Aerzte. 8.

1426. W. L. C. Stevens. *Description of a registering perimeter.* Transact. int
med. Congr. 7. Sess. London. 1881. III. S. 123.

1427. Story. *Demonstration eines Perimeters.* Ber. d. XIV. Vers. d. ophthalm. G
Heidelberg. S. 172.

1428. *Perimetrie.* Eulenburg's Realencycl. d. ges. Heilkde. S. 476.

**1883.**

1429. J. B. Emerson. *A new instrument for testing the field of vision.* Me
New York. XXIII. S. 251.

1430. Förster. *Das Kartennetz zur Eintragung der Gesichtsfelder.* Ber. d. op
Ges. zu Heidelberg. S. 131.

1431. R. Hilbert. *The representation of the limits of the visual field.* Arch. of Op
XII. S. 303.

1432. — *Die Darstellung der Gesichtsfeldgrenzen.* Arch. f. Augenheilkde. XII.

1433. Kazaurow. *Ueber den Einflufs der Accommodation des Auges auf Vera*
*der Grenzen des Gesichtsfeldes.* Wratsch. No. 2.

1434. J. L. Minor. *The field of vision.* Americ Journ. of med. sc. S. 77.

1435. Stöber. *Du champ visuel simple ou achromatique et de ses anomalies*
d'Ophthalm. S. 56, 138 u. 252.

**1884.**

1436. J. Albertotti. *Ein autometrisches, selbstregistrirendes Perimeter.* Kl. M
f. Augenheilkde. S. 465.

7. J. ALBERTOTTI. *Autoperimetro registratore.* Clinic. oftalm. di Torino. Ann. d'Ocul. Bd. 92. S. 198.
8. O. BAER. *Ueber Gesichtsfeldmessung und deren allgemeine diagnotische Bedeutung.* Leipzig. Volkmann's Sammlg. klin. Vortr. No. 246.
9. CL. DU BOIS-REYMOND. *Ein Perimeter.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 188.
0. P. BUNGE. *Ueber Gesichtsfeld und Faserverlauf im optischen Leitungsapparat.* Habil.-Schr. Halle. 36 S.
1. E. DYER. *A new perimeter.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 686.
2. FERRI. *La périmétrie et les périmètres enregistreurs.* Arch. ital. de Biol. 2. S. 142.
3. GALEZOWSKI. *Nouveau modèle de périmètre.* Rec. d'Ophthalm. S. 649.
4. GAZEPY. *Campimètre portatif.* Rec. d'Ophthalm. S. 455. Union méd. No. 94.
5. G. GRASELLI. *Due noteroli perimetrie.* Gaz. med. ital. lomb. IV. S. 163.
6. MAKLAKOFF. *Le périmètre de précision.* Arch. d'Ophthalm. S. 83.
7. G. MAYERHAUSEN. *Ein neues selbstregistrirendes Perimeter.* Arch. f. Augenheilkde. XIII. S. 207.
8. — *Selbstregistrirender Perimeter.* Ber. d. XIV. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 132.
9. B. A. RANDALL. *A new perimeter for measuring the visual field.* Med. News Philos. XLV. S. 419.

1885.

0. W. EHRHARDT. *Ueber den Einfluss electrischer Ströme auf das Gesichtsfeld.* Diss. München. — Centralbl. f. d. med. Wiss. 1886. No. 10.
1. FERRI. *La perimetria ed i perimetri registratori.* Ann. di Ottalm. S 53.
2. GALEZOWSKY. *Perimetro del dott. Galezowsky.* Ann. di Ottalm. S. 182. — Bull. et mém. Soc. franç. d'Ophthalm. III. S. 320. — Arch. d'Ophthalm. S. 181.
3. G. DE GRANDMONT. *De la nécessité d'une numération commune en périoptométrie.* Rec. d'Ophthalm. S. 134. — Rec. clin. d'Ocul. II. S. 26.
4. — *Périmètre enregistreur et numérateur.* Arch. d'Ophthalm. S. 181.
5. A. HILL GRIFFITH *The field of vision.* Med. Chron. Nov. 1885. S. 89.
6. E. KONRAD und J. WAGNER. *Ueber den Werth der Engelskjon'schen electrodiagnostischen Gesichtsfelduntersuchung.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkr. XVI. 1. S. 101.
7. G. MAYERHAUSEN. *Verbesserung an meinem selbstregistrirenden Perimeter.* Arch. f. Augenheilkde. XV. S. 306.
8. — *A new self-registering perimeter.* Arch. of Ophthalm. XIV. No. 1.
9. MELLO. *Note sur un nouvel instrument destiné à la mensuration du champ visuel et de la diplopie.* Arch. d'Ophthalm. S. 276.
0. A. NIEDEN. *Demonstration eines selbstregistrirenden Perimeters.* Ber. üb. d. 18. Vers. d. ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 241.
1. HJ. SCHIOTZ. *Ein selbstregistrirendes Perimeter.* Arch. f. Augenheilkde. XVI. 1. S. 13.
2. H. WILBRAND. *Ueber concentrische Gesichtsfeldeinschränkung bei functionellen Storungen der Grosshirnrinde und uber Incongruenz hemianopischer Gesichtsfelddefecte.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 73.

1886.

3. B. CARTER. *Two perimeters.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 506 u. Ophthalm. Rev. S. 118.
4. W. S. DENNET. *Dyer's Perimeter.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 359.
5. E. DYER. *The hemispherical wire perimeter.* Ophthalm. Rev. S. 273
6. K. KOLLER. *Ueber das Gesichtsfeld.* Wien. med. Wochenschr No. 9.
7. CH. LEEGARD. *Ueber die electro-diagnostische Gesichtsfelduntersuchung.* Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 38. S. 525.
8. J. L. MINOR. *Reference chart of the field of vision* Dtsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 38. S. 287.
9. TH. REID. *Perimeter.* Ophthalm. Rev.

1887.

0. A. NIEDEN. *Gesichtsfeld-Schema zum Gebrauch fur gewohnliche und fur selbstregistrirende Perimeter.* 2. Aufl. Wiesbaden. Bergmann.

1888.

1. J. B. EMERSON. *A new instrument for testing the field of vision.* Post Graduate. New-York. 1888 89. S 46.

1472. G. de Grandmont. *Périoptométrie et chromatopsie; périmètre et chromatoptomètre.* Arch. d'Ophthalm. VIII. S. 208.
1473. L. Ozoulay. *Campimètre de poche.* Progr. méd. No. 46. S. 426.
1474. Pedrazzoli. *Nuovo perimetro.* Ann. di Ottalm. XVII. S. 217.
1475. C. Schweigger. *Ein handliches Perimeter.* Arch. f. Augenheilkde. S. 469.

**1889.**

1476. J. Bjerrum. *Ueber Untersuchung des Gesichtsfeldes.* Med. selsk. forhandl. S. 219.
1477. Deeren. *Quelques critiques sur les périmètres.* Rec. d'Ophthalm. S. 474—479 u. 519—523.
1478. A. Groenouw. *Wo liegt die vordere Grenze des ophthalmoskopisch sichtbaren Augenhintergrundes?* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (3.) S. 29.
1479. Schweigger. *A handy perimeter.* Arch. Ophthalm. XVIII. S. 187. New-York.

**1890.**

1480. J. Bjerrum. *Ueber eine Ergänzung der gewöhnlichen Gesichtsfelduntersuchung sowie über das Gesichtsfeld bei Glaukom.* Nord. ophthalm. Tidsskr. II. S. 3.
1481. J. Hirschberg. *Geschichtliche Bemerkung zur Gesichtsfeldmessung.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. 14. Jahrg. S. 350—351.
1482. O. König. *Beobachtungen über Gesichtsfeld-Einengung nach dem Förster'schen Typus.* Arch. f. Augenheilkde. XXII. S. 264—286.
1483. Jocqs. *Un perimètre modifié.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 228.
1484. Lagrange. *Leçons sur les anomalies de la réfraction et de l'accommodation, suivies de l'examen du sens chromatique et du champ visuel.* Paris, Steinheil. 1890.
1485. De Lapersonne. *Un nouveau périmètre pratique.* Ann. d'Ocul. Bd. 103. S. 29—32.
1486. A. Nieden. *Gesichtsfeld-Schema.* 3. Aufl. Wiesbaden. Bergmann.
1487. Pedrazzoli. *Nouveau périmètre.* Verona.
1488. Reymond. *Studio sulle alterazioni dei campi visivi nella cura dello strabismo.* XII Congr. dell' Assoc. Oftalm. Ital. Pisa. 1890. — Ann. di Ottalm. XIX.

**1891.**

1489. P. Braunschweig. *Eine neue Form des Perimeters.* Zeitschr. f. Instrumentenkunde. S. 58—60.

**1893.**

1490. A. Antonelli. *Scotometro.* Ann. di Ottalm. XXII. S. 19. — Ann. d'Oculist. T. 109. S. 31.
1491. Bagot. *Nouveau périmètre de poche.* Ann. d'Oculist. Bd. 110. S. 100.
1492. T. E. Giles. *A new perimeter.* Arch. of Ophthalm. XXII. S. 28—30.
1493. C. J. A. Leroy. *Champ optique, champ visuel absolu et relatif de l'œil humain.* Compt. Rend. Bd. 116. S. 377—379.

**1894.**

1494. D. Axenfeld. *Eine einfache Methode, Hemianopsie zu constatiren.* Neurol. Centralbl. XIII. S. 437—438.
1495. Groenouw. *Beiträge zur Kenntnifs der concentrischen Gesichtsfeldverengerung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (2.) S. 172—223.
1496. G. T. Ladd. *Direct control of the retinal field.* The Psychol. Rev. I. S. 351—355.
1497. H. Salomonsohn. *Ueber die sog. pathologische Netzhautermüdung.* (Mit Benutzung eines Vortrages, gehalten in der Berliner ophthalm. Gesellschaft am 18. Januar.) Berl. Klin. Heft 70. — Sep. Berlin. Fischer. 21 S.
1498. R. Simon. *Ueber die Entstehung der sog. Ermüdungseinschränkungen des Gesichtsfeldes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (4.) S. 276—307.
1499. F. M. Wilson. *A portable perimeter with its apology for existence.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. XXX. ann. meeting. S. 226. Washington.

# § 11.
# Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut.

## 1. Aeltere Litteratur.

Hier ist auch die Litteratur im § 18. 3 zu beachten.


**1575.**

0. Fr. Maurolycus. *De lumine et umbra*. Lib. III.

**1588.**

1. J. B. Porta. *De refractione*. Lib. VIII.

**1604.**

2. J. Kepler. *Paralipomena ad Vitellionem*. S. 200.

**1619.**

3. Scheiner. *Oculus*. S. 32—49.

**1685.**

4. de la Hire. Journ. des Sçavans. Ann. 1685.

**1698.**

5. de la Hire. *Sur différents accidents de la vue*. Anc. Mém. Par. X.

**1709.**

6. de la Hire. *Explications de quelques faits d'optique et de la manière dont se fait la vision*. Mém. de l'Acad. de Paris. S. 95. (Sehen im Wasser.)

7. de la Motte. *Versuche und Abhandlungen der Gesellschaft in Danzig*. Bd. II. S. 290. (Theorie des Scheiner'schen Versuchs.)

**1738.**

8. Jurin. *Essay on distinct and indistinct vision* in Smith System of Optics. Cambridge.

**1759.**

9. Porterfield. *On the eye*. S. 389—423*. (Theorie des Scheiner'schen Versuchs.)

**1792.**

0. G. Adams. *An essay on vision*. London. 2d. ed., übersetzt von F. Kries. Gotha. 1794. (Ausführlich über Brillen.)

**1800.**

1. J. Bischoff. *Praktische Abhandlung der Dioptrik*. Stuttgart. 2. Aufl. (Ueber Brillen.)

**1801.**

2. Th. Young. *On the mechanism of the eye*. Philos. Transact. P. I. S. 34. (Optometer.)

**1810.**

3. Gilbert in seinen Annalen d. Physik. XXXIV. S. 34 u. XXXVI. S. 375. (Sehen im Wasser.)

4. Wollaston. *Improved periscopic spectacles*. Phil. Mag. XVII. — Nicholson's Journ. VII. S. 143, 241.

5. Jones. *On Wollaston's spectacles*. Nicholson's Journ. VII. S. 192 u. VIII. S. 38.

**1821.**

6. G. Tauber. *Anweisung für auswärtige Personen, wie dieselben aus dem optisch-oculistischen Institute zu Leipzig Augengläser bekommen können*. Leipzig. 3. Aufl.

**1824.**

7. Muncke. *Ueber Sehen unter Wasser*. Pogg. Ann. II. S. 257.

**1825.**

8. Purkinje. *Zur Physiologie der Sinne*. II. S. 128*.

**1828.**

9. Muncke. Art. *Gesicht*. Gehler's phys. Wörterbuch, neu bearb. Leipzig. S. 1383 bis 1386* und S. 1403—1410.

**1830.**

0. Holke. *Disquisitio de acie oculi dextri et sinistri in mille ducentis hominibus*. Lipsiae.

1837.
1521. J. Mile. Pogg. Ann. XLII. S. 51*.
1840.
1522. Henle. J. Müller's Lehrb. d. Physiol. Bd. II. S. 339—341*.
1845.
1523. O. *Youngs Optometer.* Phil. Mag. XXVI. S. 436.
1848.
1524. F. C. Donders. *Een woord over de aanwendingswijze der proef van Sanson.* Ned. Lancet. S. 211. 1848/1849.
1850.
1525. J. Czermak. Verh. d. Würzburger phys. Ges. Bd. I. S. 184.
1851.
1526. Peytal. *Nouvel instrument à l'usage de la vue myope.* Institut. No. 841. S. 8. No. 857. S. 180.
1527. H. Mayer. Prag. Vierteljahrsschr. f. prakt. Heilkd. XXXII. S. 92*.
1528. v. Hasner. Prag. Vierteljahrsschr. f. prakt. Heilkd. XXXII. S. 166. (Optometer.)
1852.
1529. Th. Ruete. *Der Augenspiegel und das Optometer.* Göttingen. S. 28*.

## 2. Gröfse und Form der Zerstreuungskreise.

Hier ist auch ein Theil der Litteratur von § 18. 3 zu beachten.

1854.
1530. J. Czermak. *Ueber die Wirkung punktförmiger Diaphragmen auf das Sehen.* Wien. Ber. XII. S. 333.
1531. — *Eine Modification des Scheiner'schen Versuches.* Wien. Ber. XII. S. 366.
1532. H. von Wyngaarden. *Ueber die Anwendung der von Donders entdeckten stenopäischen Brillen zur Verbesserung des Sehvermögens bei Trübungen der Hornhaut.* Arch. f. Ophthalm. (I.) 1. S. 251.
1855.
1533. J. Czermak. *Ueber die Wirkung punktförmiger Diaphragmen auf das Sehen.* Wien. Ber. XV. S. 428.
1534. — *Eine Modification eines Scheiner'schen Versuches.* Wien. Ber. XV. S. 451.
1872.
1535. Woinow. *Zur Lehre über den Einflufs der optischen Gläser auf die Sehschärfe.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 349.
1874.
1536. A. Schmithausen. *Ueber das Sehen der Myopen mittelst Zerstreuungskreise.* Greifswald.
1876.
1537. Badal. *Mesure du diamètre de la pupille et des cercles de diffusion.* Gaz. des Hôp. No. 57.
1538. — *Contribution à l'étude de l'accommodation de l'oeil aux distances. Mesure des cercles de diffusion.* Gaz. méd. de Paris. No. 20.
1877.
1539. Badal. *Mesure du diamètre de la pupille et des cercles de diffusion.* Bull. mens. de la clin. du Dr. Badal. Paris. Delahaye. S. 28—31.
1878.
1540. Fano. *Rôle de la rétine dans la vision des objets rapprochés ou éloignés.* Compt. Rend. Bd. 86. S. 689.
1880.
1541. Badal. *Études d'optique-physiologique; influence du diamètre de la pupille et des cercles de diffusion sur l'acuité visuelle.* Ann. d'Ocul. Bd. 83. S. 21—40. S. 103—1[illegible] S. 205—214. — Mém. de la Soc. d. sc. phys. et nat. de Bordeaux. (2.) IV. 1
1882.
1542. Prompt. *De l'expérience de Scheiner.* Ass. franç. pour l'avanc. des sc. Rec. d'Ophthalm. S. 630.
1543. V. Schulek. *Die optischen Verhältnisse bei Doppelpupillen.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXVIII. (3.) S. 128.

**1883.**

14. C. J. A. Leroy. *Quelques considérations sur les variations du diamètre de l'image sensible d'un point lumineux.* Arch. d'Ophtalm. S. 245.

**1884.**

15. J. W. Barret. *A new method of demonstrating Scheiner's experiment.* Journ. of anat. a. physiol. XIX. S. 97.

16. Bertrand. *Expériences sur la myopie et la pupille artificielle.* Ann. d'Ocul. Bd. 91. S. 32.

**1885.**

17. D. Kokemüller. *Ueber eine interessante optische Erscheinung.* Wochenschr. f. Astron. Meteorol. u. Geogr. 28. Jahrg. S. 305. (Lecat'scher Versuch.)

18. Weidlich. *Die quantitativen Beziehungen zwischen der Pupillenverengung und der scheinbaren Abnahme der Kurzsichtigkeit.* Arch. f. Augenheilkde. XV. S. 175.

**1888.**

19. D. Axenfeld. *Percezione subbiettiva dei movimenti dell' iride.* Bull. d. r. Accad. med. di Roma. 1887/88. IX. S. 122.

**1889.**

50. R. Hilbert. *Eine Modification des Scheiner'schen Versuches.* Betz' Memorabilien. Heft 5.

51. Laqueur. *Ueber eine eigenthümliche Art von Gesichtswahrnehmungen.* Centralbl. f. med. Wiss. No. 42.

**1890.**

52. L. Laqueur. *Ueber pseudentoptische Gesichtswahrnehmungen.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. Abth. 1. S. 62—82.

53. G. Wallenberg. *Der „Le Cat'sche Versuch“ und die Erzeugung farbiger Schatten auf der Netzhaut.* Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 48. S. 537—543.

**1891.**

54. L. Charry. *Des images diffuses résultantes de la vision non accommodée. Diplopie monoculaire.* Compt. Rend. de la Soc. Biol. (9.) III. 2. S. 36—37.

55. R. Hilbert. *Pupillenbeobachtungen mittels der subjectiven Methode.* Betz' Memorabilien. H. 5.

**1892.**

56. A. Szili. *Optische Verwerthung von Brillenglasreflexen.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 38. (4.) S. 12—18.

**1893.**

57. A. Roth. *Ueber eine neue stenopäische Brille (Siebbrille).* Vorläuf. Mitth. Arch. f. Augenheilkde. XXVII. S. 120—112.

58. M. Salzmann. *Das Sehen in Zerstreuungskreisen.* I. Th. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIX. 2. S. 83—129.

**1894.**

59. J. Hirschberg. *Ein Fall von einäugigem Doppeltsehen durch Doppelpupille.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XVIII. S. 355—357.

60. R. Katz. *Des cercles de diffusion et du trou sténopéique.* Wiestn. ophthalm. Mai-Juni 1894.

61. O. Landmann. *Monocular polyopia. Two cases.* Ann. of Ophthalm. and Otol. Vol. III. S. 18.

62. M. Salzmann. *Das Sehen in Zerstreuungskreisen.* II. Th. Graefe's Arch. f. Ophtalm. XL. (5.) S. 102—159.

63. H. Triepel. *Ueber Sehleistung bei Myopie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XL. (5.) S. 50—101.


## 3. Allgemeines über Refraction und Accommodation.


**1854.**

64. A. Smee. *The eye in health and disease.* London.

**1860.**

65. F. C. Donders. *Ametropie en hare gevolgen.* Verslag Ned. Gasth. v. Oogl. No. 1. S. 63.

**1861.**

1566. F. C. Donders. *Het lichtbrekend stelsel van het menschelijk oog in gezond ziekelijken toestand.* Verslag ned. Gasth. No. 2. S. 25.

**1863.**

1567. F. C. Donders. *Kort begrip der refractie-anomalien en hare gevolgen.* Versl Gasth. v. Oogl. No. 4 S. 53.

**1864.**

1568. F. C. Donders. *Het zien bij verschil in refractie der beide oogen en de hulpm daarbij aan te wenden.* Versl. Ned. Gasth. v. Oogl. No. 5. S. 167. 1866. — Ned. v. Gen. en Naturk. II. S. 112.

1569. — *Die Refractionsanomalien und ihre Folgen.* Arch. f. d. holl. Beitr. zur N Heilkde. III. S. 327.

**1865.**

1570. Giraud-Teulon. *Applications de la règle à calcul de E. Javal aux opé à exécuter sur la réfraction.* Ann. d'Ocul. LIV. S. 181.

**1866.**

1571. F. C. Donders. *Die Anomalien der Refraction und Accommodation des* Deutsch von O. Becker. Wien.

1572. A. Nagel. *Die Refractions- und Accommodationsanomalien des Auges.* Tül

1573. R. Schirmer. *Die Lehre von den Refractions- und Accommodationsstörung Auges.* Berlin.

1574. W. Zehender. *Die Accommodations- und Refractionsanomalien.* Klin. Mon.-l S. 279.

**1867.**

1575. H. Kaiser. *Die nächsten Ursachen der Anisometropie in optischer Hinsicht.* f. Ophthalm. XIII. 2. S. 361.

**1868.**

1576. W. Dobrowolsky. *Myopie, ihre Complication mit Accommodationskrampf.* Monatsbl. f. Augenhlk. Aufserordentl. Beilageh. S. 1—93.

1577. J. Z. Laurence. *Die optischen Fehler des Auges mit ihren Folgen Astenop Strabismus.* Aus d. Engl. übersetzt u. mit Zusätzen versehen v. A. Karst. Kreu

1578. H. Scheffler. *Theorie der Augenfehler und der Brille.* Wien.

**1869.**

1579. Giraud-Teulon. *De l'influence des lentilles.* Ann. d'Ocul. LXII. S. 93.

1580. E. Grether. *Kurze practische Bemerkungen über Accommodations- und Refra anomalien.* Würzburg.

1581. Laqueur. *Sur les changements brusques de la réfraction de l'œil.* Ann. d LXI. S. 205.

1582. Ed. Meyer. *Leçons sur la réfraction et l'accommodation.* Paris.

1583. A. Schumann. *Experimentaluntersuchung über die Baufehler und Accommod störungen des menschlichen Auges.* Leipzig.

**1872.**

1584. F. C. Donders. *Praktische opmerkingen over den invloed van hulplenzen gezichtsscherpte.* Onderzoek. ged. in het Phys. Labor. Utrecht.

1585. — *Praktische Bemerkungen über den Einflufs von Hülfslinsen auf die Seh* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (2.) S. 245.

1586. H. Schmidt. *Kurze Anleitung zur Untersuchung der Refraction, Accomm und Sehschärfe.* Marburg.

**1873.**

1587. C. S. Fenner. *A treatise on the diseases of refraction and accommodation.* Lou

**1874.**

1588. H. Snellen u. E. Landolt. *Ophthalmometrologie. Die Functionsprüfung Auges.* Aus v. Graefe u. Sämisch's Handb. d. ges. Augenheilkde. III. S. 1—249.

**1875.**

1589. J. Stilling. *Ueber typischen Accommodationskrampf.* Klin. Mon.-Bl. f. A heilkde. XIII. S. 5—30.

**1876.**

1590. E. Emmert. *Ueber Refractions- und Accommodationsverhältnisse des mensch Auges nach eigenen Untersuchungen.* Bern. Haller.

1877.

91. E. ADAMUK. *Anomalien der Refraction und Accommodation.* Ophthalm. Beob. d. Kl. d. Univ. Kasan. II. 1. 112 S.

92. R. B. CARTER. *On defects of vision which are remediable by optical appliances* Med. Times and Gaz. II. No. 1410—1421.

93. — *On Defects of Vision.* London. 145 S.

94. J. GARD. *De la réfraction oculaire et de l'anisométropie.* Paris, Delahaye.

95. CH. HIGGENS. *Lectures on the Anomalies of Refraction and Accommodation etc.* Med. Times and Gaz. 16. u. 23. Decbr. 1876, 27. Jan., 10. Febr. 1877.

1878.

96. BADAL. *Conférences d'optométrie.* (*Réfraction, Accommodation, Acuité visuelle etc.*) Gaz. des Hôp. No. 15, 19, 53. 73, 89, 105.

97. — *Études d'optique physiologique.* Ann. d'Ocul. T. 80. S. 42—56.

98. L. WEISS. *Ueber die Refractionsveränderung, welche bei Accommodationslähmung beobachtet wird.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIV. 2. S. 190—212.

1879.

99. E. JAVAL. *Les maladies de l'oeil et l'emploi des lunettes.* Rev. Scient. (2.) IX. No. 18. S. 306—310.

00. E. LANDOLT. *A Manual of Examination of the Eyes.* Englisch v. Burnett. London. Baillière. Philadelphia. Brinton.

01. L. MAUTHNER. *Die Functionsprüfungen des Auges.* (Heft 3, 4 u. 5 d. Vortr. a. d. Gesammtgeb. d. Augenheilkde.) Wiesbaden. Bergmann.

02. E. NETOLICZKA. *Untersuchungen über Farbenblindheit und Kurzsichtigkeit.* I. 28. Jahresbericht d. steiermärk. Landes-Ober-Realschule. Graz.

03. G. SOUS. *Traité d'optique consid éréedans ses rapports avec l'examen de l'œil.* Paris. Doin. 362 S.

1880.

04. BADAL. *Étude d'optique physiologique.* Arch. d'Ophthalm. I. S. 58. — Ann. d'Ocul. Bd. 84 S. 217.

05. EMMERT. *Auge und Schädel; Untersuchungen über Refraction, Accommodation der Augen und Bewegungs-Mechanismus des Auges.* Berlin. Hirschwald.

06. A. NAGEL. *Die Anomalien der Refraction und Accommodation des Auges.* Graefe's u. Saemisch's Handb. d. ges. Augenheilkde. VI. Kap. X. S. 258—503.

07. E. NETOLICZKA. *Untersuchungen über Farbenblindheit und Kurzsichtigkeit.* II. 29. Jahresber. d. steiermärk. Landes-Ober-Realschule. Graz.

08 H. SCHMIDT-RIMPLER. *Emmetropie.* Eulenburg's Real-Encykl. f. d. ges. Heilkde. IV. S. 507.

09. SCZELKOW. *Zur Frage über die Veränderungen der Hornhautkrümmungen bei zunehmendem Alter.* Centralbl. f. d med. Wiss. XVIII. No. 44. S. 819.

10 H. SNELLEN u. E. LANDOLT. *Ophthalmométrologie. Traité complet d'ophthalmologie par L. de Wecker et E. Landolt.* I. 2. Theil. Paris. Delahaye. 1892. 292 S.

1881.

11. A. CHARPENTIER. *Examen de la vision au point de la médecine générale.* Bibl. biol. internat. IV. 137 S. Paris. Doin.

12. GIRAUD-TEULON. *La vision et ses anomalies.* Paris. Baillière. 936 S.

13. A. v. REUSS. *Untersuchungen über den Einfluſs des Lebensalters auf die Krummung der Hornhaut nebst einigen Bemerkungen über die Dimensionen der Lidspalte.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. 1. S. 27.

14. G. SOUS. *Traité d'optique considérée dans ses rapports avec l'examen de l'œil.* 2. édit. Paris. Doin. 512 S

1882.

15. H. CULBERTSON. *Refraction of the eye, as distinguished from accommodation and estimated as an equivalent, from the index of refraction.* Cinc. Lancet u. Clinic. VIII S. 451.

16. E. H. FRAVEL. *Anomalies of refraction.* Gaillard's Med. Journ. New-York. XXXII. S. 442.

17. A. LEROY. *Clinique ophtalmologique de la faculté de médecine de Lyon. Optique physiologique, vision centrale, irradiation et acuité visuelle.* Arch. d ophthalm. S. 22, 348, 441

18. J. MASSELON. *Examen fonctionnel de l'oeil.* Paris. Doin.

1619. F. G. Perez. *Anomalias de la refraction visual.* Gac. de sanid. mil. Madr S. 349, 410.
1620. Roberts. *Examen de la vision practicado en las escuelas de la Ciudad de Aires.* Buenos-Aires.

1883.

1621. Chauvel. *Précis théorique et pratique de l'examen de l'œil et de l* Paris. 431 S.
1622. E. Cheuvreul. *Précis historique et pratique de l'examen de l'œil et de* Paris. Masson. 150 S.
1623. L. Königstein. *Die Anomalien der Refraction und Accommodation.* Wie
1624. Leduc. *Contribution à l'étude de l'anisometropie.* Paris. 42 S.
1625. J. Neuschüler. *Occhio ed occhiali.* Turin. 104 S.

1884.

1626. J. Albertotti. *Preliminari di studi sperimentali diretti a stabilire sop principio l'esame funzionale dell' occhio.* Gior. d. r. Accad. di med. di To XXXII. S. 162.
1627. Culbertson. *A comparison of total and manifest hypermetropia as deter the presoptometre with and without the use of mydriatics.* New York. me 22 march.
1628. Fuchs. *Beiträge zu den Anomalien der Refraction und Accommodation* Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 14.
1629. R. Maddox. *On distant vision.* Proc. of the Royal Soc. of London. 21. XII. S. 433.

1886.

1630. C. M. Culver. *The refraction and accommodation of the eye and their by Landolt.* Edinburgh. 597 S.
1631. E. H. Fravel. *Anomalies of refraction.* Cinc. Lancet u. Clinic. XVII. S
1632. G. T. Helm. *Short sight, long sight and astigmatism.* London, Churchill

1887.

1633. A. Imbert. *Les anomalies de la vision.* Gaz. hebdom. d. sc. méd. de Mo IX. S. 78, 92, 113, 126.

1888.

1634. A. Imbert. *Les anomalies de la vision. Avec une introduction par E. Java* Baillière et fils.

1889.

1635. P. Smith. *On the size of the cornea in relation to age, sex, refraction and glaucoma.* Opht. Rev. S. 380. — Trans. of the Ophthalm. Soc. X. S. 68.
1636. F. Valk. *Lectures on the errors of refraction and their correction with* New-York.

1890.

1637. Lagrange. *Leçons sur les anomalies de la réfraction et de l'accommodatio de l'examen du sens chromatique et du champ visuel.* Paris. Steinheil.
1638. J. Masselon. *Examen fonctionnel de l'œil.* Paris. Doin. 2. édit.
1639. A. Randall. *Some disputed points in the correction of refraction errors.* of the Americ. med. Assoc. — Americ. Journ. of Ophthalm. VIII. No. 1. *glaucoma.* Trans. of the Ophthalm. Soc. X. 1889/90. S. 68.

1891.

1640. K. Hoor. *Gemeinfaſsliche Darstellung der Refractions-Anomalien.* Gekr. P Wien. Hölder. 86 S.
1641. J. Schiötz. *Öjets refractionsziutande, en vejledning for medicinske studeren Refractionszustände des Auges, ein Leitfaden für Studirende.)* Christiania.

1892.

1642. Herrnheiser. *Die Refractionsentwickelung des menschlichen Auges.* Pr Wochenschr. No. 19 u. 20. — Sep. Berlin. Fischer. 36 S. — Zeitschr. f. XIII. S. 342.

1893.

1643. H. Bertin-Sans. *Les variations que subissent sous l'influence de l'âge les r courbure du cristallin.* Arch. d'Ophtalm. XIII. S. 240—244.
1644. H. Schiess. *Kurzer Leitfaden der Refractions- und Accommodationsan* Wiesbaden. Bergmann. 69 S. mit 30 Abbild.

**1894.**

15. Cl. du Bois-Reymond. *Über die latente Hypermetropie.* Zeitschr. f. Psychol. VIII. S. 34—43.
16. Chauvel. *Études ophthalmoscopiques. Hypermétropie.* Rec. d'Ophthalm. S. 573.
17. A. Graefe. *Accommodation und Convergenz.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XL. (5.) S. 247—252.
18. L. Konigstein. *Die Anomalien der Refraction und Accommodation.* 2. Aufl. Wien. W. Braumüller. 102 S.
19 Th. Young. *Oeuvres ophthalmologiques.* Französisch von Tscherning. Kopenhagen, Höst u. Sön. 248 S.

## 4. Accommodationsbreite.

**1854.**

50. J. Czermak. *Von den Accommodationslinien.* Wien. Ber. Bd. XII. S. 322.
51. — *Ueber den Zusammenhang zwischen der Convergenz der Augenaxen und dem Accommodationszustand der Augen.* Wien. Ber. Bd. XII. S. 339.

**1855.**

52. Stellwag v. Carion. *Die Accommodationsfehler des Auges.* Wien. Sitzgs.-Ber. XVI. S. 187.
53. J. Czermak. *Accommodationslinien.* Wien. Ber. Bd. XV. S. 425, 457.
54. — *Ueber den Zusammenhang zwischen der Convergenz der Augenaxen und der Accommodation.* Wien. Ber. Bd. XV. S. 438.

**1856.**

55. A. v. Graefe. *Ueber Myopia in distans nebst Betrachtungen über das Sehen jenseits der Grenzen unserer Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. II. 1. S. 158—186.

**1857.**

56. J. J. Oppel. *Ueber das Sehen durch kleine Oeffnungen und das Gerham'sche Diaskop.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1856—1857 S. 37—42.

**1858.**

57. F. C. Donders. *Winke, betr. den Gebrauch und die Wahl der Brillen.* Arch. f. Ophthalm. IV. 1. S. 286—300.
58. Th. H. Mac-Gillavry. *De oculi accommodationis quantitate disquisitiones.* Utrecht.

**1859.**

59. M. Mac-Gillavry. *Onderzoekingen over de hoegrootheid der accommodatie.* Diss. Utrecht. 1858. — Henle u. Pfeufer's Zeitschr. f. rat. Med. (3.) VI. S. 612—613.

**1860.**

60. F. C. Donders. *Beiträge zur Kenntniſs der Refractions- und Accommodationsanomalien.* Arch. f. Ophthalm. VI. 1. S. 62—105. VI. 2. S. 210—283. VII. 1. S. 155—204. — Verslagen en Mededeelingen der K. Acad. Amsterdam. 1861. S. 159 bis 201. — Jaarlijksch Verslag betrekkelijk het Nederlandsch Gasthuis voor Ooglijders. I. S. 63—205 II. S. 25—68. IV. S. 1-118.
61. C. Landsberg. *Beschreibung eines neuen Optometers und Ophthalmodiastometers.* Pogg. Ann. CX. S. 435—452. — Polytechn. Centralbl. S. 405—406.
62. A Burow. *Ueber den Einfluſs peripherischer Netzhautparthien auf die Regelung der accommodativen Bewegungen des Auges.* Arch. f. Ophthalm. VI. (1.) S. 106—110.

**1861.**

63. Ch Aeby *Die Accommodationsgeschwindigkeit des menschlichen Auges.* Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. 3.) XI. S. 300—304.
64. Giraud Teulon. *Des mouvements de décentration laterale de l'appareil cristallin.* Compt. Rend. LII. S. 383—385. — Institut. S. 82. — Cosmos. XVIII. S. 284—286.
65. H. Dor. *Des différences individuelles de la refraction de l'œil.* Journ. de la physiol. XI. XII. — Arch. d. sc. phys. 2. X. S. 82—85.
66. H. de Brieder. *De stoornissen der accommodatie van het oog.* Diss. Utrecht. — Jaarlijksch Verslag betr. het Nederl. Gasthuis. II S. 69—142.
67. v. Jaeger jun. *Ueber die Einstellungen des dioptrischen Apparates im menschlichen Auge.* Wien. 1861.
68. Stellwag v. Carion. *Zur Litteratur der Refractions- und Accommodationsanomalien.* Zeitschr. d. K. K. Ges. d. Aerzte. 1861.

1868.

1669. F. C. DONDERS. *De formule der accommodatiebreedte, getoetst aan de inve veranderingen van het oog.* Versl. Ned. Gasth. v. Oogl. No. 4. S. 105.

1867.

1670. H. KAISER. *Die nächsten Ursachen der Anisometropie in optischer Hinsicht.* . f. Ophthalm. XIII. 2. S. 361.

1671. E. G. LORING. *Sur l'accommodation relative.* Compt. Rend. 4 et 5. Sess. ann New York. Juni.

1868.

1672. H. DOR. *Ueber einen außergewöhnlichen Fall von Lähmung der Accommod* Bern. Mitth. S. 24—25.

1869.

1673. R. SCHIRMER. *Ueber das Accommodationsverhältniſs bei verschiedenen Blick* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. VII. S. 405.

1870.

1674. E. ADAMÜCK und M. WOINOW. *Zur Frage über die Accommodation der Presb* Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 144.

1675. SCHNELLER. *Beiträge zur Lehre von der Accommodation und Refraction.* Ar Ophthalm. XVI. (1.) S. 176.

1875.

1676. J. v. HASNER. *Ueber die Accommodationseinheit.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenhe XIII. S. 1—4 u. 88—90. — Aerztl. Corresp.-Bl. f. Böhmen. II. S. 419.

1677. — *Die Accommodationshyperbel.* Kl. Mon.-Bl. f Augenheilkde. XIII. S. 289-

1678. — *Ueber die Grenzen der Accommodation des Auges.* Prag. Calve. 32 S.

1876.

1679. W. DOERINKEL. *Ueber die Abnahme der Accommodationsbreite in verschie Stadien der Presbyopie.* Marburg.

1877.

1680. L. HAPPE. *Ueber v. Hasner's Accommodationseinheit und den Ort des Pu Null für maximale* (∞) *Accommodation.* Centralbl. f. prakt. Augenhei S. 77—99 u. S. 101—105.

1681. — *Ueber das Maaſs der Accommodation.* Centralbl. f. prakt. Augenhei S. 198—200.

1682. v. HASNER. *Ueber die Grenzen der Accommodation.* Prag. med. Wochen 1877. No. 8.

1683. — *Ueber den Accommodationsaufwand.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S bis 148.

1684. — *Schluſswort zur Accommodationseinheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S bis 201.

1685. TH. RUMPF. *Zur Lehre von der binocularen Accommodation.* Inaug.-Diss. H berg. Beil.-Hft. z. d. Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XV.

1879.

1686. SZOKALSKI. *Das Verschwinden der Presbyopie im hohen Alter.* Medycyna. 18

1880.

1687. H. BIESINGER. *Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Accommodatio Convergenz der Blicklinien.* Mitth. a. d. ophthalm. Klinik z. Tübingen. Heft 1. — Inaug.-Diss. Tübingen. 1879.

1688. HÄLLSTÉN. *Die dioptrische Fähigkeit in centrirten Systemen mit besonderer sicht auf die dioptrische Fähigkeit und die Accommodationsbreite des Auges.* f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. 1880. Heft 1 u. 2.

1883.

1689. LEDUC. *Contribution à l'étude de l'anisometropie.* Paris. 1883. 42 S.

1884.

1690. O. BESELIN. *Untersuchungen über Refraction und Grundlinie der Augen und die dynamischen Verhältnisse der lateral wirkenden Augenmuskeln an Mädchen 5—18 Jahren.* Diss. Heidelberg. — Arch. f. Augenheilkde. XIV. S. 132.

1691. C. REYMOND. *Modificazione all' esame degli equilibrii muscolari e leggi del rap tra l'accommodazione e la convergenza oculare.* Ann. di Ottalm. XIII. 2. S. — Giorn. d. r. Accad. di med. di Torino. XII. S. 69.

1885.

12. Imbert. *Sur le choix des verres de lunette et sur la variation du pouvoir accommodatif avec l'âge.* Gaz. hebdom. d. sc. méd. de Montpellier. VII. S. 197.

13. C. Reymond. *Sui rapporti dell' accommodamento colla convergenza.* Atti d. r. Accad. di med. di Torino. VI.

1886.

14. Giovanni. *Accommodation und Convergenz.* Ann. di Ottalm.

15. E. Maddox. *Investigation in the relation between convergence and accommodation.* Journ. of anat. XX. u. XXI., u. Ophthalm. Rev. S. 341.

16. Ch. A. Oliver. *A new series of metric test-lettres and words for determining the amount and range of accommodation.* Transact. of the americ. ophthalm. soc. 22 Meeting. S. 217.

17. — *Metric test types for determining the amount of accommodation.* Ophthalm. Rev. S. 272.

18. G. Secondi. *Osservazioni sul rapporto tra l'accommodazione e la convergenza.* Giorn. d. r. Accad. di med. di Torino. XXXIV. S. 714.

1887.

19. A. E. Fick. *Ueber binoculare Accommodation.* Corresp.-Bl. f. schweiz. Aerzte. XVII.

10. G. Secondi. *Osservazioni sul rapporto tra l'accommodazione e la convergenze.* Ann. di Ottalm. XV. S. 485.

1888.

11. A. E. Fick. *Ueber ungleiche Accommodation bei Gesunden und Anisometropen.* Arch. f. Augenheilkde. XIX. S. 123.

12. — *Ueber die Accommodation der Anisometropen.* Ber. d. 7. internat. Ophthalm.-Congr. z. Heidelberg. S. 451.

13. J. Ramis. *Consideraciones de dióptrica fisiológica sobre el punto próximo, el punto remoto y la amplitud de la accommodación.* Rev. méd. de México. I. S. 44.

14. Schneller. *Ueber Veränderungen der Formen des Auges bei Convergenz der Sehaxen und gesenkter Blickebene.* Ber. d. 7. internat. Ophthalm.-Congr. zu Heidelberg. S. 328.

15. G. Secondi. *Sul rapporto tra l'accommodazione e la convergenze.* R. Accad. Med. di Roma. XIII.

1889.

16. R. und A. Ahrens. *Neue Versuche über anisomorphe Accommodation.* Bevorwortet von W. v. Zehender. Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXVII. S. 291.

17. C. Hess. *Versuche über die angebliche ungleiche Accommodation bei Gesunden und Anisometropen.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. 1. S. 157—171.

18. Pereles. (nach Untersuchungen von F. Halsch und H. Pereles). *Ueber die relative Accommodationsbreite.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. 4. S. 84—115.

19. A. Randall. *Model to demonstrate the relations of accommodation and convergence.* Ophthalm. Rev. S. 134—137.

1891.

0. Berry. *On some points with reference to the connection between accommodation and convergence.* Brit. med. Journ. No. 1571. S. 287.

1. R. Greeff. *Zur Vergleichung der Accommodationsleistung beider Augen.* Arch. f. Augenheilkde. XXIII. S. 371—386.

2. G. Secondi. *Ueber die synergische Verbindung von Accommodation und Convergenz.* Ann. di Ottalm. Fac. 1 u. 2.

1892.

3. G. van Eijsselsteijn. *Over de accommodatie en convergentie bij zijdelingschen Blick.* Diss. Utrecht 1891. — Versl. Ned. Gasth. voor Oogl. 1892.

4. A. E. Fick. *Noch einmal die ungleiche Accommodation.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 38. S. 204—220.

5. C. Hess und F. Neumann. *Messende Versuche zur Frage nach dem Vorkommen ungleicher Accommodation beim Gesunden.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 38. S. 184—190.

6. C. Hess. *Kritik der neueren Versuche zur Frage nach dem Vorkommen ungleicher Accommodation.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 38. S. 169—183.

7. A. Percival. *The relation of convergence to accommodation and its practical bearing.* Ophthalm. Rev. No. 133. S. 313

1718. H. Snellen. *Ueber Beschränkung der Convergenz und der Accommodation be lichem Blick.* Ber. üb. d. XXI. Vers. d. Ophthalm. Ges. S. 113.

**1893.**

1719. K. Fischer. *Ueber die Beziehungen zwischen der Accommodation und der ( genz der Blicklinien.* Diss. Halle. 1893. 99 S.

1720. Oliver. *A new series of test words for the determination of the power of ac dation.* Arch. of Ophthalm. XXII. S. 347—348.

1721. Savage. *Relationship between the centres of accommodation and conve* Ophthalm. Record. Mai.

**1894.**

1722. J. Kaufmann. *Die absolute und relative Accommodationsbreite in den verschie Lebensaltern.* Diss. Göttingen. 29 S.

## 5. Optometrie, Optometer und Phakometer.

Hier ist auch die Litteratur von § 18. s zu beachten.

**1862.**

1723. de Haas. *Geschiedkundig onderzoek omtrent de Hypermetropia en hare ge* Diss. Utrecht. — Jaarl. Versl. betr. het Nederl. Gasth. voor Oog. III. S. 157

**1863.**

1724. A. Burow. *Vorläufige Notiz über die Construction eines neuen Optometers.* f. Ophthalm. IX. (2) S., 228—231.

1725. — *Ein neues Optometer.* Berlin. 1863.

1726. A. v. Graefe. *Ein Optometer.* Dtsch. Klin. 1863. S. 10.

**1864.**

1727. A. Burow. *Ueber die Reihenfolge der Brillenbrennweiten.* Berlin.

1728. F. C. Donders. *On the anomalies of accommodation and refraction of the eye.* Lo

**1866.**

1729. J. W. Verschoor. *Optometers en Optometrie.* Zesde Jaarl. Verslag van het N Gasthuis. voor Oogl. S. 97—160.

**1867.**

1730. A. Burow. *Ein vereinfachtes Verfahren bei Bestimmung der Brillen.* Berl. Wochenschr. VII. 10. März.

**1869.**

1731. J. C. Douglas. *On shadow optometers.* Phil. Mag. (4.) XXXVII. S. 340–3

1732. M. Perrin et Mascart. *Mémoire sur un nouvel optomètre destiné à faire reco et à mesurer tous les vices de la refraction de l'oeil.* Ann. d'Ocul. Bd. 61. S.

**1870.**

1733. J. C Douglas. *Reply to Mr. Templetons remarks suggested by Mr. Dou account of a new Optometer.* Phil. Mag. Vol. 40. S. 340—344.

1734. R. Templeton. *Remarks suggested by Mr. Douglas' account of a new opt* Phil. Mag. Vol. 39. S. 9.

1735. W. M. Thomson. *An additional method to determine the degree of Ame* Amer. Journ. of the med. sc. Januar.

**1873.**

1736. Laidlaw Purves. *Eine Methode zur Bestimmung der Refractionsanomalien.* f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 89—100.

**1874.**

1737. H. Snellen u. E. Landolt. *Die Functionsprüfungen des Auges.* Gräfe-Sa Handb. d. ges. Augenheilkde. III. Cap. I. Leipzig.

**1875.**

1738. Ch. Jeaffreson. *On Laidlaw Purves' Optometer.* Brit. med. Journ. 30

1739. W. L. Purves. *On determination of the refraction of the eye.* Brit. med. . 26. Januar.

1740. — *On a new optometer.* Brit. med. Journ. 27. Februar.

1741. Risley. *New optometer for measuring the anomalies of refraction and the fi vision.* Amer. Journ. of the med. sc. Bd. 140. S. 449.

1742. L. v. Wecker. *Optometer und Optometerspiegel.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenhe XIII. S. 458—465.

**1876.**

3. Badal. *Nouvel optomètre donnant, à la fois et dans une seule opération, la mesure de la réfraction oculaire et celle de l'acuité visuelle.* Ann. d'Ocul. LXXV. S. 5—13. — Gaz. hebd. S. 137—138. — Gaz. méd. de Paris. S. 547—549.

4. Goerdicke. *Neues Optometer.* Dtsch. milit.-ärztl. Zeitschr. No. 8 u. 9.

5. H. Snellen. *Das Phakometer zur Bestimmung von Focus und Centrum der Brillengläser.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XIV. S. 363—366. — Maandbl. voor Natuurw. VII. S. 23—27. — XVII jaarl. Vers. van het Nederl. Gasthuis etc. S. 204—211.

6. C. W. Zenger. *Neues Optometer mit doppeltbrechender Linse von Kalkspath, welches doppelte Leseproben giebt und gröfsere Präcision in Bestimmung der Sehdistanz gewährt.* Catal. of the Spec. Loan Coll. of Scient. Appar. London. 1876. I. S. 131. No. 894.

**1877.**

7. Badal. *Leçons pratiques d'optométrie.* Bull. mens. de la clin. du Dr. B. Paris. Delahaye. S. 65—71, 76—79, 83—95.

8. — *Optomètre métrique international.* Bull. mens. de la clinique du Dr. B. Paris. Delahaye. S. 17—23.

9. M. Burchardt. *Ueber objective Bestimmung der Sehweite in Centimetern und in Dioptrien.* Dtsch. med. Wochenschr. 1877. No. 13.

0. — *Ueber subjective Bestimmung der Sehweite durch Linsen, welche sich im Brennpunktsabstande von dem Auge befinden.* Dtsch. med. Wochenschr. III. No. 21.

1. — *Ueber Bestimmung der Sehweite und der Sehschärfe durch Linsen, die sich im Brennpunktsabstande vor dem Auge befinden.* Dtsch. med. Wochenschr. 1877. No. 45.

2. F. C. Donders. *Ein pankratisches Fernrohr.* (Nebst einer Nachschrift.) Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (4.) S. 269—281. — XVIII. j. Versl. Nederl. gasth. etc. S. 51—62, 87—90. — Utrecht'sche Onderzoek. 3 recks. V. S. 1—12, 67—72. — K. Acad. v. Wetensch. te Amsterdam. Proc.-verb. 1877/78. No. 2. S. 3—7 — Centr.-Bl. f. pract. Augenheilkde. Beilageh. S. 24. — D. Zeitschr. f. pract. Med. S. 428. — Beil. z. d. Klin. Monatsbl. f. Augenhlkd. XV. S. 143—145.

3. E. Dubois. *Note sur l'emploi et la choix des lunettes destinées à corriger les mauvaises vues.* Journ. de phys. VI. S. 28—29.

4. J. Hirschberg. *Ueber Refractionsmessung und über ein neues Optometer.* Berl klin. Wochenschr. XIV. S. 151. — Hirschberg's Beitr. z. prakt. Augenheilkde. II. Heft S. 4—24.

**1878.**

5. H. Armaignac. *Traité élément. d'Ophtalmoscopie, d'Optometrie et de Refraction oculaire.* Paris, Delahaye. 463 S.

6. Badal. *Phacomètre.* Ann. d'Ocul. Bd. 79. S. 20—32

7. Loiseau. *Optomètre métrique et phacomètre.* Arch. méd. belg. Mai. — Bull. de l'acad. Roy. de Méd. Belg. (3. XII. 8. S. 736—752. — Ann. d'Ocul. Bd. 80. S. 5.

8. J. A. C. Oudemans. *Théorie de la lunette pancratique de M. Donders.* Arch. Néerl. XIII. S. 110—140.

9. Ruppel. *Eine Bemerkung über das Badal-Burchardt'sche Optometer.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde II. S. 53.

0. E. Warlomont. *Sur l'optomètre métrique et phacomètre du docteur Loiseau.* Bull. de l'acad. roy. de Méd. de Belg. (3. XII. S. 672—686. — Presse Méd. XXX. No. 37, 38.

**1879.**

1. Loiseau. *Note sur un nouveau modèle de l'optomètre métrique et du phacomètre portatif.* Ann. d'Ocul Jan.-Febr.

2. Prompt. *Procédé optométrique.* Soc. de Biol. 26. April

3. Thomson. *A practical and rapid method, with an instrument for the diagnosis of the refraction.* Transact. of the Americ. ophth. Soc.

4. Warlomont. *Rapports sur les communications de M. Loiseau ayant pour objet un phacomètre et un optomètre métriques.* Bull de l'acad. roy. de Méd. de Belg. (3.) XIII. 1. S. 38—63. — Ann. d'Ocul. Bd 81. S. 47—60.

**1880.**

5. M. Burgl. *Patentbrillenbestimmer zur schnellen Ermittelung der passenden Brillennummer für Kurzsichtige und Weitsichtige.* Passau. Bucher. 1880. 11 S.

1766. M. Hildebrand. *Ueber die Augenuntersuchung der dienstpflichtigen Mannschaft.* Diss. Berlin. 29 S.
1767. Loiseau. *Optomètre métrique.* Bruxelles. 63 S.
1768. Maréchal. *Appareil pour la détermination de l'acuité visuelle et de la vision des couleurs.* Compt. Rend. du 6. congr. périod. intern. d'ophth. à Milan. 1880. S. [illegible]
1769. G. Sous. *Phacomètre et optomètre.* Mém. de la Soc. d. sc. phys. et nat. de Bordaux. (2.) IV. 1.
1770. E. Weise. *Ueber das Verhältniſs des Grades der Hypermetropie zur Sehschärfe.* Inaug.-Diss. Berlin. 1880.

1881.

1771. Loiseau. *La question des optomètres.* Ann. d'Ocul. Bd. 85. S. 5—37.
1772. Perrin. *Optométrie ou dioptrique de l'oeil.* Dict. encycl. d. sc. méd. Paris. XVI. S. 449.

1882.

1773. V. Giudici. *Ancora due parole sulla misurazione della miopia e della ipermetropia.* Rom. 1882.
1774. G. Leonhard. *Eine neue optometrische Methode und ihre Anwendung auf die Praxis,* Leopoldina. Amtl. Org. d. k. Leop.-Carol. Ak. Heft 23.
1775. G. Moyne. *Ottimetro modificato.* Boll. d'ocul. V. 4. S. 100.
1776. Seggel. *Ein doppelröhriges metrisches Optometer.* Ärztl. Intelligenz-Bl.

1883.

1777. D. Axenfeld. *Eine optische Erscheinung, welche zur Construction eines Optometers verwerthet werden kann.* Pflüg. Arch. Bd. 30. S. 288.
1778. H. Katsch. *Doppelröhriges Optometer..* Zeitschr. f. Instr.-Kde. III. S. 78.
1779. Moyne. *Ottimetro-modificato.* Neapel. 1883.

1884.

1780. H. Cohn. *Das Dioptrie-Lineal zur Brillenprobe.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 44.
1781. H. Culbertson. *On the value of the prisoptometer in determining the degree of myopia, with table.* Amer. Journ. of Ophth. 15. April. I. S. 10.
1782. G. Moyne. *Ottometro-modificato.* Ann. di Ottalm, XIII. S. 588.
1783. Plehn. *Neu construirtes Optometer.* Ber. d. XVI. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 135.

1885.

1784. L. A. Borteling. *Compound optometer for correcting errors of refraction.* San Francisco. 1885. 18 S.
1785. L. Dahlerup. *Dr. Plehn's apparat til bestemmelse of refraction og synsstyrke.* Ugekr. for läger. 4 R. XII.
1786. Emmert. *Mesures anciennes et nouvelles.* Rev. méd. de la Suisse romande. No. 8. S. 474.
1787. Gazepy. *Optomètre et astigmomètre binoculaire.* Arch. d'Ophthalm. S. 182. Rec. d'Ophthalm. S. 138.
1788. V. Giudici. *Sulla misurazione objettiva della miopia e della ipermetropia.* Giorn. di med. mil. di Roma. XXXIII. S. 128.
1789. A. Marula. *De la lunette de Galilée en optométrie.* Thèse de Paris. 49 S.
1790. Plehn. *Ein Apparat zur Ermittelung der Refractionsverhältnisse und der Sehschärfe des Auges.* Zeitschr. f. Instrkde. V. S. 53—57. — Arch. f. Augenheilkde. XV. S. 269.
1791. L. Wolffberg. *Apparat zur Augenuntersuchung auf dem Assentplatz.* Dtsch. milit.-ärztl. Zeitschr. XIV. S. 149.

1886.

1792. A. R. Baker. *The prisoptometer; an instrument for the ready detection and correction of myopia etc.* Cleveland med. Gaz. I. S. 314.
1793. H. Culbertson. *On a mode of determining, with the prisoptometer, the degree of latent hypermetropia without mydriatics.* Amer. Journ. of Ophth. S. 220.
1794. — *A mode of determining the absolute myopia through the aid of glasses with the prisoptometer.* Amer. Journ. of Ophth. S. 325.
1795. Deeren. *Etude des liens qui doivent exister entre l'acuité visuelle et la réfraction dans l'œil emmétrope et amétrope.* Rec. d'Ophth. S. 75.
1796. C. E. Fitzgerald. *Optometer.* Ophth. Rev. S. 62.

7. J. Tweedy. *On a improved optometer for estimating the degree of astigmatism and other errors of refraction.* Lancet. I. S. 777.

1887.

8. G. J. Bull. *Ein Optometer.* Ber. d. 19. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 192. Beil.-Heft zu Kl. Mon.-Bl. f. Augenhlkde. S. 3—18.

9. Chisolm. *A simple and valuable optometer.* Transact. med. a. chir. Tosc. Maryland. Baltimore. S. 126.

0. — *The ten inch optometer.* Maryland. Med. Journ. Baltimore. XVII. S. 141·

1. C. E. Fitzgerald. *Demonstration eines Apparates zur schnellen Bestimmung der Refraction.* Ber. d. 19. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 204.

2. F. Hément. *L'optomètre Bull.* La Nature. XV. 2. S. 187—188.

3. W. A. Holden. *An instrument for testing refraction and its errors etc.* Arch. Ophth. New-York. S. 295.

1888.

4. S. M. Burnett. *Apparatus for diagnosis of refraction.* Amer. Journ. of Ophth. S. 312.

5. H. Culbertson. *An alleged defect of the prisoptometer.* Amer. Journ. of Ophth. S. 317.

6. A. L. Roe. *A new method of testing the refraction of the eye.* Lancet. I. S. 417.

7. A. H. Ward. *A new optometer for determining all errors of refraction.* Ber. d. 7. intern. Ophth.-Congr. zu Heidelberg. S. 439.

8. *Anweisung für den Gebrauch des von Dr. Engelhard construirten und patentirten monoculären und binoculären Optometers.* Schulz u. Bartels, opt. Industrie-Anst. zu Rathenow.

1889.

9. D. Axenfeld. *Un phénomène optique qui peut servir pour base à la construction d'un optomètre.* Arch. Ital. de Biol. XII. S. 1—3.

1890.

0. Chibret. *Un optomètre de poche fondé sur une propriété des progressions.* Soc. d'Ophth. 4. Febr. 1890. Rec. d'Ophth. S. 116.

1. Nimier. *Quelques remarques sur l'acuité visuelle et le strabisme chez les hypermétropes.* Rec. d'Ophthalm. No. 4. S. 229.

1891.

2. A. Carl. *Ein Apparat zur Prüfung der Sehschärfe.* Arch. f. Augenheilkde. XXIV. S. 41—47.

1892.

3. G. E. Mergier. *Optomètre portatif pour la détermination rapide des amétropies et la mesure de l'acuité visuelle.* Ann. d'Ocul. T. 108. S. 351—363.

1893.

4. G. Bitzos. *Un nouveau phacomètre pratique à faire.* Ann. d'Ocul. T. CIX. S. 187.

5. G. E. Mergier. *Optomètre portatif pour la détermination rapide des amétropies et la mesure de l'acuité visuelle.* Compt. Rend de la Soc. de Biol. (N. F.) V. 20. S. 582.

6. Moon. *A portable and combined optometer and ophthalmoscope.* Medic. and Surgic. Reporter 11. Februar.

1894.

7. H. Bordier. *Détermination de l'acuité visuelle des yeux amétropes par l'optomètre du professeur Badal.* Arch. d'Ophth. XIV. 9. S 562—580.

8. E. Constentin. *Optométrie objective.* Genf. Eggimann & Co. 1894. 172 S.

9. P. Sgrosso. *Communications cliniques d'optométrie, ophthalmometrie, skiascopie etc.* Arch. di Ottalm. III. 1 2.

0. M. Tscherning. *L'optomètre de Young et son emploi.* Arch. de Phys. (5.) VI. S. 909—919.

## Massen-Untersuchungen in Bezug auf Refraction und Sehschärfe.

Weitere Litteratur ist in § 18. 3 angegeben. Ebenfalls ist ein Theil der in § 11. 8 angegebenen ratur zu beachten.

1880.

1. F. A. Holke. *De acie oculi dextri et sinistri in 1200 hominibus sexu, aetate et vitae ratione diversis examinata.*

2. H. Cohn. *Die Kurzsichtigkeit unter den Schulkindern und ihre Beziehungen zu Schultisch und Helligkeit der Schulzimmer. Nach Untersuchungen an 7568 Schülern.* Vorl. Mitth. Deutsch. Klin. No. 7.

1867.

1823. H. Cohn. *Untersuchungen der Augen von 10060 Schulkindern.* Leipzig. Fle

1871.

1824. H. Cohn. *Die Refraction von 240 atropinisirten Dorfschulkindern.* A
Ophthalm. XVII. (2.) S. 305.

1874.

1825. H. Cohn. *Die Augen der Greise* Tagebl. d. Naturf.-Vers. zu Breslau.

1876.

1826. M. Reich. *Quelques mots sur l'acuité visuelle des soldats.* Brochure adjoi
protocolle de la séance de la Soc. imp. de méd. du Caucase.

1877.

1827. H. Cohn. *Die Augen der Uhrmacher, Goldarbeiter, Juweliere und Lithog*
Centralbl. f. Augenheilkde. April.

1828. M. Reich. *Untersuchungen der Sehschärfe bei 4613 Rekruten.* Milit.-med. Mon
Nov. 1877. Petersb. med. Wochenschr. No. 41. S. 349—351.

1878.

1829. F. C. Donders. *Rapport aangaande het onderzoek van het Gesichtsvermogen*
*Personeel der Maatschappij tot Exploitatie van Staatsspoorwegen.* Utrecht. D
felder u. Co. 44 S. — XIX. j. versl. Nederl. gasth. etc. S. 1—22.

1830. M. Reich. *Die Refraction der Augen von 1259 Schülern und Schülerinnen in*
Petersb. med. Wochenschr. No. 31.

1879.

1831. H. Cohn. *Die Augen der Frauen.* Breslau. Morgenstern. 44 S.

1832. Horstmann. *Ueber Refractionsverhältnisse von Kindern.* Ber. üb. d. 12. V
ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 239—248.

1880.

1833. Ely. *Beobachtungen mit dem Augenspiegel bezüglich der Refraction der*
*Neugeborener.* Arch. f. Augenheilkde. IX. 4. S. 431.

1834. Horstmann. *Ueber Refractionsbestimmungen bei Neugeborenen.* Klin. Mo
f. Augenheilkde. S. 495. Dtsch. med. Wochenschr. No. 42. S. 566.

1881.

1835. A. C. Collard. *De Oogen der Studenten aan de Rijks-universiteit te U*
22. jaarl. Verl. betr. het Nederl. Gasth. v. Oogl. S. 73—152.

1836. L. Königstein. *Untersuchungen an den Augen neugeborener Kinder.* Wien.
Jahrb. 1. S. 47—70.

1837. M. Reich. *Die Sehschärfe in den Lehranstalten Rußlands.* Wratschebnija
mosti. No. 44. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 100.

1882.

1838. J. Albrecht. *Statistische Beiträge zur Lehre von der Myopie.* Klin. Mo
f. Augenheilkde. S. 342.

1839. E. Durr. *Tabellarische Zusammenstellung der Refraction einer Schule.* Ber.
Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 66.

1840. B. Lyder. *Refractions- und Farbenblindheits-Untersuchungen von 550 Schulk*
Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 406.

1883.

1841. E. Dürr. *Die Refraction von 414 Schülern nach Anwendung von Hom*
Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIX. (1.) S. 103.

1842. W. Hansen. *Untersuchungen der Augen von 808 Schulkindern im Alte*
*10—15 Jahren.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 196.

1843. W. Manz. *Ueber die Augen der Freiburger Schuljugend.* Freiburg u. Tüb
36 S.

1844. A. v. Reuss. *Untersuchungen der Augen von Eisenbahn-Bediensteten auf F*
*sinn und Refraction.* Arch. f. Ophthalm. XXIX (2.) S. 229.

1845. M. Reich. *Refractionsveränderungen im Laufe von 6 Jahren an 85 Schülern*
*achtet.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIX. (2.) S. 303.

1884.

1846. J. Bjerrum. *Ueber die Refraction bei Neugeborenen.* Dtsch. med. Wochenschr. S

1847. W. Hansen. *Untersuchungen über die Refractionsverhältnisse im 10.—15. L*
*jahre und das Wachsthum der Augen in diesen Jahren.* Kiel. Diss.

48. C. Horstmann. *Die Refractionsverhältnisse des menschlichen Auges bis zum 6. Lebensjahre.* Ber. d. 16. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 79.

1885.

49. B. Carter. *Eyesight in schools.* Med. Times and Gaz. I. S. 535, 569.
50. Th. Germann. *Beiträge zur Kenntnifs der Refractionsverhältnisse der Kinder im Säuglingsalter, sowie im vorschulpflichtigen Alter.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. XXXI. (2.) S. 122—146.
51. Randall, *Augenuntersuchungen in den Schulen.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 500.
52. — *A study of the eyes of medical students.* Transact. Pennsylvania State med. soc. 18 S.
53. Ch. Roberts. *Statistics of eyesight in elementary schools.* Med. Times and Gaz. I. S. 593.
54. Schiötz. *Ophthalmometrische und optometrische Untersuchung von 969 Augen.* Arch. f. Augenheilkde. XVI. S. 37.

1886.

55. H. Cohn. *Ueber neue Untersuchungen der Augen der Uhrmacher.* Berl. klin. Wochenschr. S. 391.
56. L. Siesmann *Resultate der Sehprüfung der Schüler der Schule für Militärbader zu Irkutsk.* (Russisch.) Westnik ophth. II. 6. S. 464.
57. Ph. Steffan. *Die Myopie am Frankfurter Gymnasium.* v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXII. (2.) S. 301.
58. J. Widmark. *Refraktionsundersökningar, utförda vid några skolor in Stockholm (Untersuchung der Refraction in einigen Schulen Stockholms).* Nord. med. arkiv. Heft 4.

1887.

59. Jackmann. *Eyesight of school children.* Ophth. Rev. S. 23.
60. H. W. William. *The importance of re-examinations as to the accuracy of vision of railroad employés and mariners* Boston med. and surg. Journ. Bd. 117. S. 373.

1888.

61. B. A. Randall u. G. E. de Schweinitz. *An analysis of the statistics of the refraction of the human eye.* Ber. d. 7. intern. Ophthalm.-Congr. zu Heidelberg. S. 511.

1889.

62. Barthélemy. *L'examen de la vision devant les conseils — marine et armée.* Paris. Baillière.
63. W. Feilchenfeld. *Statistischer Beitrag zur Kenntnifs der Refractionsänderungen bei jugendlichen und erwachsenen Personen.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (1.) S. 113—136.
64. *Colour-blindness and defective far sight among the seamen of the mercantile marine.* Nature. S. 438.

1890.

65. J. Arminski *Das Verhältnifs zwischen dem Fernpunkt des Normalmenschen und seinen Beschäftigungen.* Wien. med. Blätter. No. 40 u. 41. Verh. d. X. internat. med. Kongr. Bd. IV. S. 86.
66. T. Axenfeld. *Untersuchungen mehrerer Marburger Schulen auf Kurzsichtigkeit.* Inaug.-Diss. Marburg. 30 S.
67. H. Cohn. *Die Augen der Zöglinge der Breslauer Taubstummen-Anstalt.* Jahresbericht d. Taubstummen-Anstalt für 1890.
68. G. Mackay. *Colour-Blindness and defective sight in relation to public duty* Brit. Med. Journ. No. 1568. S. 123
69. J. Rheinstein. *Die Veränderungen der Schüleraugen in Bezug auf Refraction und Augenspiegelbefund, festgestellt durch in Zwischenräumen von mehreren Jahren wiederholte Untersuchung derselben Schüler.* Inaug.-Diss. Würzburg. 24 S.

1894.

70. M. Girls. *Die Augen der indianischen Schulkinder.* Zeitschr. f. Schulgesundhtspflge. 10. S. 569.
71. L. Kotelmann. *Die Sehschärfe der Schüler des Gymnasium Christianeum in Altona.* Zeitschr. f. Schulgesdhtspflge. 2 S. 74.
72. H. S. Miles. *Refractionsstörungen bei 4000 Augen.* The Refractionist. Octbr.

1873. K. Pischl. *Bericht über die Untersuchungen der Augen von 1900 Schulkinde öffentlichen Schulen von San Francisco.* Journ. Amer. med. Assoc.
1874. Richi. *Anomalies de la vision relevées sur 45000 sujets.* Ann. d'Ocul. Bc S. 350—371.

## 7. Brillen-Scalen und besondere Brillenformen.

**1864.**

1875. A. Burow. *Ueber die Reihenfolge der Brillenbrennweiten.* Berlin.

**1866.**

1876. H. Gerold. *Die zwiefache Planconvex-Brille. Ein Doppelocular von versch Focaldistanz mit der Gesammtbrennweite eines einfachen Aequivalents, berech construirt für eine bestimmte Hypermetropie.* Arch. f. Ophthalm. XII. (1.) S. : Zeitschr. f. d. ges. Naturwiss. XXXV. S. 215.
1877. A. Steinheil. *Ueber Brillengläserscalen und Accommodationsvergleichungen.* Z f. Biol. II. S. 366—376. — Zeitschr. f. Naturwiss. XXXV. S. 215.

**1867.**

1878. E. Javal. *Eine einheitliche Maſsbestimmung der Brillen-Brennweiten.* Klii Bl. V. S. 297.

**1868.**

1879. A. Burow. *Sur les séries des verres et sur l'emploi du système métrique numérotage des lunettes.* Ann. d'Ocul. LX. S. 5.

**1870.**

1880. A. Burow. *Ueber die Reihenfolge von Brillennummern.* Zeitschr. f. Nat XXXV. S. 215.

**1871.**

1881. P. Braham. *Description of a set of lenses for the accurate correction of defect.* Rep. Brit. Ass. S. 37.

**1872.**

1882. E. Javal. *Das metrische System für optische Focallängen.* Klin. Mon.-Bl. X.

**1873.**

1883. A. Burow. *Das Meter-Maſs zur Bezeichnung der Brillen-Brennweite.* Klin. Bl. XI. S. 145.
1884. — *De l'emploi du système métrique pour désigner les longueurs focales des re lunettes.* Ann. d'Ocul. LXX. S. 52.
1885. Giraud-Teulon. *De la substitution du mètre au pied dans le numérotage des de lunettes.* Ann. d'Ocul. LXIX. S. 235.
1886. Königsberg. *Entgegnung auf Giraud-Teulon's letzte Arbeit über l Numerotage.* Klin. Mon.-Bl. XI. S. 303.
1887. F. Monoyer. *Sur l'introduction du système métrique dans le numérotage des de lunettes etc.* Ann. d'Ocul. LXIX. S. 97.
1888. A. Nagel. *Zur Brillen-Numerirungs-Frage.* Klin. Mon.-Bl. XI. S. 93.
1889. E. Warlomont. *De la substitution du mètre au pied dans le numérotage des de lunettes.* Ann. d'Ocul. LXIX. S. 5 u. 193.
1890. W. Zehender. *Ueber die Einführung des metrischen Systems in die Leh den Refractionsanomalien des menschlichen Auges.* Klin. Mon.-Bl. XI. S. 1.
1891. — *Giraud-Teulon's Vorschlag, betreffend die Numerotage der Brillengläser.* Mon.-Bl. XI. S. 223.
1892. — *Zur Frage der Einführung des französischen Maaſses in die Dioptrik.* Mon.-Bl. XI. S. 267.

**1874.**

1893. Nagel. *Einheit der Brillengläser.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 362.
1894. — *Ueber die Benutzung des Metermaaſses zur Numerirung der Brillen.* Stu

**1876.**

1895. Badal. *Optomètre métrique international.* Ann. d'Ocul. LXXV. S. 101—107
1896. F. C. Donders. *Ueber das Metermaaſs mit Bezug auf Numerirung der B gläser und Bezeichnung der verschiedenen Grade der Ametropie.* Klin. Mon. Augenheilkde. XIII. S. 465—477.
1897. J. v. Hasner. *Die Donders'sche Meterscala für Brillen.* Prag. med. Woche S. 959.

8. E. Landolt. *Die Einführung des Metersystems in die Ophthalmologie.* Stuttgart. Enke. 30 S. — Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XIV. S. 223—250. — Ann. d'Ocul. Bd. 75. S. 207—234.

**1877.**

9. Badal. *Optomètre métrique international.* Bull. mens. de la clin. du Dr. B. Paris. Delahaye. S. 17—23.

0. Landolt. *Ueber das Verhältniß der alten zur neuen Einheit der Brillengläser.* Ann. d'Ocul. Bd. 78. S. 44—47. — Klin. Mon.-Bl. XV. S. 333—336.

**1878.**

1. C. M. Gariel. *Sur le numérotage des verres de lunettes.* Journ. de phys. VII. S. 127—130.

2. v. Hasner. *Ueber die Dioptrie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 75—77.

3. C. Horstmann. *Zur Numerirung der Brillengläser.* Cassel.

**1880.**

4. A. Nagel. *Ueber die Bezeichnung dioptrischer Werthe aus dem Betrage symmetrischer Convergenzbewegungen nach metrischen Maaßeinheiten.* Mitth. a. d. ophthalm. Klin. in Tübingen. Heft 1.

**1881.**

5. A. Nagel. *Ueber die neuen nach metrischem Maaße bezeichneten Brillengläser.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. I. S. 161—164.

**1882.**

6. Juda. *De benaming der brillenglazen in dioptrien.* Neederl. Tijdschr. v. Geneesk. Amsterdam. XVIII. S. 687.

7. E. Raehlmann. *Ueber die optische Wirkung der hyperbolischen Linsen, sowie über die Anwendung derselben als Brillen.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 111.

**1883.**

8. Badal. *Verres périscopiques et cônes de Steinheil.* Ann. d'Ocul. Bd. 89. S. 19.

9. A. Imbert. *De l'interprétation et de l'emploi du pouvoir dioptrique et de la dioptométrie métrique en ophthalmologie.* Lyon, Thèse de doctor. Paris, Baillière et fils.

0. A. Angelucci. *Sulla refrazione e correzione delle cornee coniche ed ectatiche.* Ann. di Ottalm. XIII. S. 35.

**1885.**

1. R. M. Ferguson. *The dioptric system and its relation to the old system of numbering lenses.* Louisville. Med. News. XIX. S. 353.

**1886.**

2. Burnett. *The metre-lens, its English name and equivalent.* New-York. med. Journ. Bd. 44. S. 183.

3. — *The dioptry again.* New-York. med. Journ. Bd. 44. S. 380.

4. Knapp. *Dioptry or dioptric.* New-York. Med. Journ. XLIV. S. 377.

**1888.**

5. D. Doijer. *De brillinkwestie.* Feestbundel. Donder's Jubiléum. Amsterdam. S. 60.

6. A. E. Fick. *Eine Contactbrille.* Arch. f. Augenheilkde. XVIII. S. 279.

7. J. Wallace. *The correction of conical cornea.* Univ. med. Mag. Philadelphia. 1888/89 S. 231.

8. W. v. Zehender. *Zwei Bemerkungen zur Brillenfrage.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 393.

**1890.**

9. E. Berger. *Appareil destiné à remplacer la boite de verres d'essai.* New York Med. Journ. Vol. LII. No. 10. S 30.

0. E. Landolt. *Le numérotage rationel des verres prismatiques employés en ophthalmologie.* Arch. d'Ophthalm. X. 5. S. 401.

**1892.**

1. A. E. Fick. *Einige Bemerkungen über die Contactbrille.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXX. S. 306—310.

**1893.**

2. Pflüger. *Tori- und Doppelfocus-Gläser.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXI. S. 1—18.

3. Romano. *Die torischen Gläser.* Arch. di Ottalm. I. 1 2.

4. Steiger. *Zur Benennung torisch geschliffener Brillengläser.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. Bd. XXXI. S. 103.

1925. W. v. Zehender. *Zur Benennung torisch geschliffener Brillengläser*. Klin. Mo Augenheilkde. Bd. XXXI. S. 103.

1894.

1926. J. Bjerrum. *Om Kontaktglas*. Med. Aarsskrift. Kopenhagen.

## 8. Refractionsanomalien, ihre Entstehung und Heilung.

**Hier ist auch die in § 11, 6 angegebene Litteratur zu beachten.**

1852.

1927. L. Tuellmann. *De Myopia*.

1858.

1928. J. C. Braunbck. *De myopia et presbyopia*. Berlin.

1865.

1929. F. W. Hebberling. *De Myopia*. Berlin.

1866.

1930. H. Cohn. *Die Kurzsichtigkeit unter den Schulkindern und ihre Beziehun Schultisch und Helligkeit der Schulzimmer*. Nach Untersuchungen an 7568 Sc Vorl. Mitth. Dtsche. Klin. No. 7.

1931. E. Reymond. *Annotazioni sulla Miopia*. Torino.

1868.

1932. H. Cohn. *Myopie und simulirte Myopie*. (Russisch.) Russ. Arch. f. Gesdhtspflge. No. 1. St. Petersburg.

1933. W. Dobrowolsky. *Myopie. Ihre Complication mit Accommodationskramp* Mon.-Bl. f. Augenheilkde. Aufserord. Beilagehft. S. 1—93.

1869.

1934. W. Dobrowolsky. *Scheinbare und falsche Kurzsichtigkeit in Folge von Con der Accommodationsmuskel*. Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. Aufserord. Be S. 141—200.

1873.

1935. H. Borgmann. *Ueber die Verwendung decentrirter Brillen bei Myopie*. Be

1874.

1936. J. Schnabel. *Zur Lehre von den Ursachen der Kurzsichtigkeit*. Arch. f. Op XX. (2.) S. 1—70.

1875.

1937. A. E. Brauns. *Ueber die Sehschärfe bei Myopie ohne Correction*. Marbur

1876.

1938. F. v. Arlt. *Ursachen und Entstehung der Kurzsichtigkeit*. Wien.

1939. L. Weiss. *Beiträge zur Entwickelung der Myopie. — Ueber eine leicl zuführende Messung des Augenspiegelbildes und die Bedeutung dieser Messun die Beurtheilung des dioptrischen Apparates des Auges*. Graefe's Arch. f. Op XXII. (3.) S. 1—124.

1877.

1940. E. Landolt. *Bemerkungen zu dem Artikel: Beiträge zur Entwickelung der* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (1.) S. 263—264.

1941. — *Sur les causes des anomalies de la réfraction*. Gaz. hebdom. 2. S. X S. 618.

1878.

1942. Swan M. Burnett. *Die Sehschärfe bei hochgradiger Ametropie*. Americ of ment. sc. S. 362—370.

1943. Schön. *Die Ueberbürdung des Auges und die Zunahme der Kurzsichtigkeit*. F Zeitschr. f. prakt. Med. No. 21.

1879.

1944. Fick. *Ueber den Zusammenhang zwischen Myopie und Divergenzschiel* Aerztl. Zeitschr. I. No. 5.

1945. O. Just. *Beiträge zur Statistik der Myopie und des Farbensinnes* A Augenheilkde. VIII. S. 191—201.

1946. E. Landolt. *Ueber Myopie*. The Roy. Lond. Ophthalm. Hosp. Rep. X S

1880.

1947. Horstmann. *Ueber Myopie*. Arch. f. Augenheilkde. IX. 2.

48. Javal. *Les livres scolaires et la myopie.* Bullet. de l'Acad. de Méd. (2.) IX. 12. S. 221. Gaz. méd. de Paris. No. 13. S. 161.
49. S. Smith. *Short-Sight in relation to education.* Birmingham and Leicester. 1880.

1881.

50. H. Bertin-Sans. *Le problème de la myopie scolaire.* Ann. d'hygiène publ. IV. 1. 2.
51. G. B. Bono. *Del rapporto tra la forma del cranio e la refrazione oculare.* Giorn. d. Soc. ital. d'ig. Milano. III. S. 641.
52. E. Landolt. *Relations between the conformation of the cranium and that of the eye.* Brit. Med. Journ. 2. April.
53. E. Meyer. *De la myopie dans les écoles des différentes nations.* Rev. méd. franç. et étrang. No. 9.
54. Sormanni. *Miopio.* Geogr. nosolog. dell' Italia. Roma 1881. Cap. 21. S. 266.

1882.

55. J. Albrecht. *Statistische Beiträge zur Lehre von der Myopie.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 342.
56. Amadei. *Sulla craniologia delle Anomalie die Refrazione dell' occhio.* Ann. di Ottalm. XI. S. 1.
57. E. Bertin-Sans. *Le problème de la myopie scolaire.* Ann. d'hyg. Paris. VII. S. 46. u. 186.
58. W. E. Mittendorf. *Myopia and the necessity of correcting it by glasses.* Philadelphia M. Times. XIII. S. 60.
59. Schleich. *Klinisch-casuistische Beiträge zur Lehre von der Myopie.* Mitth. a. d. Klin. in Tübingen. S. 1.
60. Tscherning. *Studier oven myopiens aetiologi.* Kopenhagen. Myhres. 1882.
61. L. Weiss. *Beiträge zur Anatomie des myopischen Auges.* Nagel's Tübing. Mitth. Heft 3. S. 63—117.

1883.

62. O. Becker. *Ueber zunehmende und überhandnehmende Kurzsichtigkeit.* Ber. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 77.
63. G. B. Bono. *Indice cefalico e refrazione oculare.* Giorn. d. R. Accad. d. Med. di Torino. No. 1.
64. J. Chabanow. *Ueber die Progression der Myopie* Diss. Königsberg.
65. Daniel. *Ueber den Einfluss des Lebensalters auf das Verhältniss der manifesten zur totalen Hypermetropie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Juli-Aug.
66. M. Dobrowolsky. *Die Sehschärfe und Kurzsichtigkeit bei den Schülern des Uralschen Gymnasiums.* Wratsch. No. 6.
67. Forster *Ueber die Entstehungsweise der Myopie* Ber. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 119.
68. Fulda. *Zur Frage der Schulkurzsichtigkeit.* Blätt. f. Handel, Gewerbe u. sociales Leben. (Beibl. z. Magdeburg. Ztg.) No. 10 u. 11.
69. D. Hunt. *On the causation of myopia.* New-York. med. Journ. No. 10.
70. W. J. Mittendorf. *Der Einfluss der Civilisation auf das menschliche Auge, besonders auf die Entwickelung der Myopie.* Verh. d. dtsch. Ges. u. wiss. Ver. i. New-York. V. S. 30.
71. J. Morosin. *Determinazione di V et di R. Miopia, ipermetropia, astigmatisme.* Sassari. 1883. 80 S.
72. Paulsen. *Die Entstehung und Behandlung der Kurzsichtigkeit.* Berlin. 41 S.
73. Pflüger. *Myopische Anisometropie.* Ber. d. Univ.-Augenkl. in Bern f. 1881. Bern. 1883. S. 51.
74. M. Reich. *Refractionsveranderungen im Laufe von 6 Jahren an 85 Schulern beobachtet* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIX. 2. S. 303.
75. E. Ritzmann. *Hygienische Rathschläge gegen das Ueberhandnehmen der Kurzsichtigkeit bei der Schuljugend.* Beil. z Osterprogr. d. Schulen d. Stadt Schaffhausen. 30 S.
76. Ph. Steffan. *Zur Schulkurzsichtigkeitsfrage.* Dtsch. Vierteljahrsschr. f. öffentl. Schulgesdhtspflge.
77. Tipton. *Some facts concerning the eyesight in school children.* Transact. med. assoc. Alabama, Montgomery. S. 447
78. M Tscherning. *Studien über die Aetiologie der Myopie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm XXIX. 1. S. 201.

910. E. F. W. Pflüger. *Kurzsichtigkeit und Erziehung.*

911. J. Stilling. *Untersuchungen über die Entstehung der Kurzsichtigkeit.* Wiesbaden. Bergmann. 216 S.

912. Straumann. *Ueber ophthalmoskopischen Befund und Hereditärverhältnisse bei der Myopie.* Diss. Basel.

913. K. K. Veszely. *Zur Genese der Myopie.* Wien. med. Wochenschr. Bd. 37. S. 1119—23, 1150—54, 1173—76.

1888.

914. N. A. Baer. *Ueber das Verhalten des Orbita-Index bei den verschiedenen Refractionszuständen vom 10.—19. Lebensjahre.* Diss. München.

915. Ceveseto. *La retina del miope è l'unico oggetto che l'ipermetrope possa vedere senza correggere la sua ametropia.* Ann. di Ottalm. S 385.

916. Petrini. *Esame dell' occhio miope ad immagine diritta.* Boll. d'Osp. di S. Casa di Loreto. 1887/88. S. 448.

917. Schneller. *Ueber die Entstehung und Behandlung der Kurzsichtigkeit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. April. S. 109.

918. J. Stilling. *Schädelbau und Kurzsichtigkeit.* Wiesbaden. J. F. Bergmann. 124 S.

919. — *Ueber Schädelbau und Refraction.* Ber. d. 7. intern. Ophthalm.-Congr. zu Heidelberg. S. 97.

920. L. Weiss. *Zur Beziehung der Form des Orbitaeinganges zur Myopie.* Klin. Mon. Bl. f. Augenheilkde. S. 349.

1889.

921. W. de Jong. *Beitrag zur Entwickelungsgeschichte der Myopie.* Diss. Freiburg.

922. Nuel et Leplat. *Les vaisseaux rétiniens dans la myopie congénitale.* Ann. d'Ocul. CI. S. 154.

923. H. Schmidt-Rimpler. *Kurzsichtigkeit und Augenhöhlenbau.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (1.) S. 200—219.

924. — *Noch einmal die Orbital-Messungen bei verschiedenen Refractionen.* Fortschr. d. Med. VII. 20. S. 769.

925. — *Bemerkungen zu Stilling's Aufsatz: Ueber Orbital-Messungen bei verschiedenen Refractionen.* Fortschr. d. Med. VII. 15. S. 573.

926. — *Zur Frage der Schulmyopie.* 2. Theil. Mit 4 Fig. im Text. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (4.) S. 249—286.

927. J. Stilling. *Ueber Orbital-Messungen bei verschiedener Refraction.* Fortschr. d. Med. S. 444.

928. — *Ueber neue Orbital-Messungen an Kurz- und Normalsichtigen.* Fortschr. d. Med. VII. 17. S. 647.

929. — *Auch noch einmal Myopie und Orbitalbau.* Fortschr. d. Med. VII. 22. S. 861.

1890.

930. J. Arminski. *Das Verhältniß zwischen dem Fernpunkt des Normalmenschen und seinen Beschäftigungen.* Wien. med. Blätter. No. 40. u. 41.

931 Berry. *On Myopia: a criticism of the discussion at Birmingham.* Ophthalm. Rev. No. 109. S. 327.

932. H. Cohn. *Ueber den Einfluß hygienischer Maßregeln auf die Schulmyopie.* Zeitschr. f. Schulgesdhtspflge. No. 1 u. 2.

933. — *Kurze Replik auf die Entgegnung des Professors v. Hippel betreffs seiner Schrift über Schulmyopie.* Zeitschr. f. Schulgesdhtspflge. No. 4.

934. V. Fukala. *Treatment of high degrees of myopia bei removal of the lens.* Americ. Journ. of Ophthalm.

935. Galezowski. *Etude sur quelques variétés graves de myopie et sur les moyens de les guérir.* Rec. d'Ophthalm. S. 513—521 u. 577—586.

936. J. Hirschberg. *Diabetische Kurzsichtigkeit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. 14. Jahrg. S. 7—8.

937. A. Krotoschin. *Anatomischer Beitrag zur Entstehung der Myopie.* Arch. f. Augenheilkde. XXII. S. 393.

938. Kühne. *Beschreibung einiger Modelle und Apparate u. a. auch zur Demonstration der Myopie etc.* Zeitschr. f. Biol. (N. F.) IX. S 418—432.

939. Nuel. *Une curiosité physiologique de l'œil myope.* Ann. d'Ocul. Juillet-Août. S. 43.

940. — *Diagnostic de la prédisposition à la myopie.* Rev. gén de l'Ophthalm. S 215

2041. B. A. Randall. *Can Hypermetropia be healthfully outgrown?* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc.
2042. Rotand. *De la myopie et quelques considérations sur son étiologie et sa prophylaxie.* Thèse de doctor.
2043. H. Schmidt-Rimpler. *Bemerkung zu Stilling's letzter Erwiderung.* Fortschr. d. Med. S. 58.
2044. — *Die Schulkurzsichtigkeit und ihre Bekämpfung.* Leipzig. Engelmann. 115 S.
2045. Seggel. *Ueber die Abhängigkeit der Myopie vom Orbitalbau und die Beziehungen des Conus zur Refraction.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (2.) S. 1—65.
2046. Priestley Smith. *On Myopia: a reply to Dr. Berry's criticism.* Ophthalm. Rev. S. 345—351.
2047. — *A discussion on the causes, prevention and treatment of myopia.* Ophthalm. Rev. S. 252—253.
2048. Priestley Smith u. Gross. *Myopia: its causes, prevention and treatment.* Ophthalm. Rev. 1890. No. 109. S. 313.
2049. Stilling. *Ueber das Wachsthum der Orbita und dessen Beziehungen zur Refraction.* Arch. f. Augenheilkde. XXII. S. 47.
2050. H. Wingerath. *Kurzsichtigkeit und Schule.* Berlin. Friedländer u. Modl.

**1891.**

2051. Deeren. *Quelques remarques sur la myopie.* Rec. d'ophthalm.
2052. V. Fukala. *On the injurious influence of the accommodation upon the increase of myopia of the highest degree.* Americ. Journ. of Ophthalm. VIII. No. 3. S. 81.
2053. — *Heilung höchstgradiger Kurzsichtigkeit durch Beseitigung der Linse.* Leipzig u. Wien. F. Deuticke. 31 S.
2054. — *Ueber die Ursache der Verbesserung der Sehschärfe bei höchstgradig myopisch gewesenen Aphaken.* Arch. f. Augenheilkde. Bd. 24. 2. S. 161—168.
2055. Keyser. *Hypermetropia.* Times and Reg. XII. S. 133.
2056. A. Krotoschin. *Anatomischer Beitrag zur Entstehung der Myopie.* Arch. f. Augenheilkde. XXII. S. 393—421.
2057. Nimier. *Myopia in schools.* New-York. med. Journ. LIV. No. 16. S. 435.
2058. — *De la myopie chez les candidats aux écoles militaires.* Ann. d'Ocul. CVI. S. 15.
2059. J. P. Nuel. *D'une apparence ophthalmoscopique de l'œil myope. — Contribution à la connaissance de la prédisposition héréditaire à la myopie.* Arch. d'Ophthalm. XI. S. 56—73.
2060. F. Ott. *Ueber die hochgradige Myopie.* Inaug.-Dis. Strafsburg. 57 S.
2061. Th. Proskauer. *Ein Beitrag zur Myopiestatistik.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVII. (2.) S. 199—219.
2062. A. B. Randall. *Nimmt Hypermetropie durch normales Wachsthum ab?* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXIX. S. 57—62.
2063. Th. v. Schröder. *Die operative Behandlung der hochgradigen Myopie mittelst Entfernung des Linse.* St. Petersb. med. Wochenschr. No. 29. S. 251.
2064. Schröter. *Einflufs der Schuljahre auf die Entwickelung der Kurzsichtigkeit.* Leipzig.
2065. Theobald. *Inherited monocular myopia.* Americ. Journ. of Ophthalm. VIII. S. 251.

**1892.**

2066. J. Arminski. *Das Verhältnifs zwischen dem Fernpunkt des Normalmenschen und seinen Beschäftigungen.* Verhandl. d. X. internat. med. Kongresses. Bd. IV. S. 86.
2067. R. D. Batten. *Myopia the result constitutional disease.* Ophthalm. Rev. XI. 1.
2068. Belliard. *Rapport sur la myopie scolaire.* Bullet. de la soc. d'ophthalm. de Paris. S. 121.
2069. A. Bock. *Untersuchungen über die Erblichkeit der Myopie.* Diss. Kiel. 17 S.
2070. V. Fukala. *Der schädliche Einflufs der Accommodation auf die Zunahme der hochgradigen Myopie.* Berl. klin. Wochenschr. No. 23. S. 558.
2071. O. Gerloff. *Beitrag zur Arbeitsmyopie.* Ber. über d. XXII. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 172—180.
2072. A. Krotoschin. *Anatomischer Beitrag zum Studium der Entwickelung der Myopie.* Arch. of ophthalm. XXI. 1. S 33—38.
2073. P. Landsberg. *Eigenartiger Gebrauch des Convexglases bei excessiver Hypermetropie.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXX. S. 187—192. 292 u. 361.

'74. Nimier. *Remarques sur la répartition géographique de la myopie en France.* Bullet. de la Soc. d'Ophthalm. de Paris. S. 1.

'75. Ostwalt. *Réfraction de l'œil fort myope à l'état d'aphakie avec remarques sur les avantages du choix uniforme du foyer antérieur de l'œil muni du cristallin comme point de départ pour toutes les mesures de la réfraction, même de l'œil aphaque.* Rev. gén. d'ophthalm. XI. S. 1—21.

'76. Pflüger. *Bemerkungen zur operativen Behandlung hochgradiger Kurzsichtigkeit.* Ber. über d. XXII. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 118—123.

'77. F. Poeller. *Experimental - Beiträge zur Myopie - Hygiene.* Arch. f. Hyg. XIII. S. 335—343.

'78. Rymsza. *Vergleichende Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen dem Refractionszustande der Augen und dem Schädelbau.* Diss. Dorpat. 65 S.

'79. Schweigger. *Correction der Myopie durch Aphakie.* Ber. über d. XXII. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 115—118.

80. S. Stephenson. *A note upon the relative frequency of myopia among Christians and Jews.* Ophthalm. Rev. XI. S. 110—112.

81. J. Stilling. *Zur Kurzsichtigkeitsfrage.* Berl. med. Wochenschr. No. 16. S. 398.

82. Valude. *Myopie forte. Extraction du cristallin transparent.* Bullet. de la Soc. d'ophthalm. de Paris. S. 30.

1893.

83. K. L. Baas. *Zur Anatomie und Pathogenese der Myopie.* Knapp u. Schweigger's Arch. f Augenheilkde. XXVI. S. 33—56.

84. E. Gellzuhn. *Ueber einen Fall von höchstgradiger Uebersichtigkeit mit besonderer Berücksichtigung der Diagnostik.* Diss. Berlin. 29 S.

85. Hauvel. *De la myopie, ses rapports avec l'astigmatisme.* Paris. Steinheil.

86. B. Jankowski. *Beitrag zur Myopiefrage.* Mitth. a. klin. u. med. Inst. d. Schweiz. I. Reihe. 2. Heft. Basel. C. Sallmann. 57 S. — Diss. Bonn.

87. H. Ohlemann. *Beitrag zur Schulmyopie.* Arch. f. Augenheilkde. XXVI. S. 168—180.

88. H. Schmidt-Rimpler. *Zur Myopiefrage.* Ztschr. f. Schulgesdhtspflge. VI.

89. W. Schoen. *Erworbene Brechungsänderungen des Auges.* Arch. f. Augenheilkde. XXVII. S. 268—293.

90. Schweigger. *Operative Beseitigung hochgradiger Myopie.* Vortr. i. d. Berl. med. Ges. Dtsch. med. Wochenschr. No 20.

91. Sulzer. *Quelques faits relatifs au développement de la myopie.* Ann. d'Ocul. Juli.

92. Thier. *Die operative Correction höchstgradiger Myopie durch Discision der Linse.* Dtsch. med. Wochenschr. XIX. No. 30. S. 717—720.

1894.

93. J. Asher. *Geschichtlicher und experimenteller Beitrag zum Studium der Entstehung der Myopie.* Deutschmann's Beitr. z. Augenheilkde. XVI S. 19.

94. M. Hori. *Beitrag zur operativen Behandlung der hochgradigen Myopie.* Arch. f. Augenheilkde. XXIX. S. 142—161.

95. H. J. Kessler. *Myopia acquisita ten gevolge van aandœning der lens.* Weekblad. No. 6 S. 167.

96. M. Niebuhr. *Beitrag zur Lehre von der operativen Behandlung der Myopie.* Diss. Halle. 40 S.

97. Schmidt-Rimpler. *Zur Myopiefrage* Ztschr. f. Schulgesdhtspflge. No. 1 u. 4.

98. Th. v. Schröder *Des résultats du traitement des hauts degrés de myopie par l'extraction du cristallin transparent.* Wiestn. Ophthalm. März-April.

99. — *Ueber die bisherigen Resultate der operativen Behandlung der hochgradigen Myopie nebst Bemerkungen über die Antiseptik bei Augenoperationen.* St. Petersb. med. Wochenschr. No 4

00. J. Stilling. *Zur Myopiefrage.* Ztschr. f. Schulgesdhtspflge. No. 3.

01. — *Beruht die hochgradige Myopie auf Inzucht?* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXII. S. 164—165.

02. — *Myopie und Orbitalbau.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XVIII. 1. S 31.

03. Thier. *Zur operativen Correction der hochstgradigen Myopie durch Discision der Linse.* Wien. klin. Wochenschr. S. 399.

04. C. Velhagen. *Entsteht hochgradige Myopie durch Inzucht?* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXII. S. 80—87

05. P. Voysuro. *Verwydering der Lens by myopie.* Weekblad. II S. 181.

## 9. Historisches.

1866.

2106. A. Nagel. *Historische Notiz über Hyperopie und Astigmatismus.* Arch. f. Opl XIII. (1.) S. 25—30.

1869.

2107. R. Schirmer. *Contributions à l'histoire de l'astigmatisme et de l'hypermetropi* d'Ocul. LXII. S. 202.

1879.

2108. H. Magnus. *Beiträge zur Kenntniſs der physiologischen Optik und der Oph therapie der Alten. 1. Die Accommodation. 2. Die Myotica.* Klin. Mon.-Bl. S. 223—232.

1880.

2109. G. Govi. *Nuovo documento relativo alla invenzione dei cannocchiali binocoli* di Bibliogr. e di Storia dei sc. mat. e fis. XIII. S. 471—480. — Compt. Rend No. 6. S. 301. (1881.)

2110. — *Sur l'inventeur des lunettes binoculaires.* Compt. Rend. Bd. 91. No. 13.

1881.

2111. A. Favaro. *Sulla invenzione dei connocchiali binoculari.* Atti d. R. Accad. Torino. XVI.

1884.

2112. R. Schirmer. *Bemerkungen zur Geschichte der Hypermetropie.* Graefe's A Ophthalm. XXX. 2. S. 185—190.

1885.

2113. F. Horner. *Ueber Brillen aus alter und neuer Zeit.* Neujahrsbl. z. Beste Waisenhauses in Zürich.

1890.

2114. L. Webster-Fox. *A history of spectacles.* Med. and Surg. Rep. 3. Mai.

1892.

2115. G. Albertotti. *Manoscritto francese del secolo decimosettimo riguardante l'uso occhiali.* Modena.

2116. Th. v. Frimmel. *Lionardo da Vinci's Auge.* Repertorium f. Kunstwiss. XV. 5. Heft.

1893.

2117. Rjäsan. *Zur Geschichte der Brillen in Ruſsland.* (*Die Brillen der Patriar* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXI. S. 217—220.

---

§ 12.

# Mechanismus der Accommodation.

## 1. Aenderung der Pupillenweite.

(Siehe § 3. 1 und 3.)

## 2. Accommodation bei Aphakie.

1872.

2118. F. C. Donders. *Over schijnbare accomodatie bij aphakie.* Onders. ged. in het Lab. d. Utr. hoogesch. 3. reeks. II. 5. S. 125.

2119. Förster. *Accommodationsvermögen bei Aphakie.* Klin. Mon.-Bl. f Augenh. X. S. 39.

1873.

J. Coert. *De schijnbare accomodatie bij aphakie.* Diss. Utrecht. Klin Mo XI. S. 89.

11. F. C. Donders. *Ueber scheinbare Accommodation bei Aphakie.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 56.

12. F. Mannhardt. *Accommodationsvermögen bei Aphakie* Klin. Mon.-Bl. XI S. 87.

13. Woinow. *Das Accommodationsvermögen bei Aphakie.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (3.) S. 107.

**1875.**

14. H. Schoeler. *Jahresbericht über die Wirksamkeit der Augenklinik.* Berlin. 35 S.

**1883.**

15. C. Amat *Théorie de la vision chez les opérés de cataractes.* Journ. de méd. et pharm. de l'Algérie. VIII. S. 50.

**1885.**

16. A. Frost. *Supposed power of accommodation in aphakic eye.* Lancet. I. S. 756.

**1888.**

17. E Scimemi. *Un caso di ectopia della lente et della pupilla a contribuzione del potere accomodativo nell' afachia.* Boll. d'ocul. IX. No 19. Rev. clin. d'Ocul. S. 265.

18. P. Silex. *Zur Frage der Accommodation des aphakischen Auges.* Arch. f. Augenheilkde. XIX. S. 102.

**1889.**

19. P. Silex. *On the question of accomodation of the aphakial eye.* Arch. of Ophthalm. XVIII. S. 274.

**1893.**

10. H. Hofhammer. *Ueber Accommodation bei Aphakischen.* Diss. München.

11. Schloesser. *Ueber Accommodation aphakischer Augen.* Sitzgs.-Ber. d. Ges. f. Morphol. u. Physiol. München. VIII. S. 131.

**1894.**

12. H. Sattler. *Untersuchungen über die Frage nach dem Vorkommen einer äufseren Accommodation durch Muskeldruck.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (3.) S. 239—282.


## 3. Mechanismus der Accommodation.

Hier ist auch die Literatur von § 3. ¡ und ¡ zu beachten.


**1611.**

13. Kepler. *Dioptrice.* Propos. 26.

**1619.**

14. Scheiner. *Oculus.* Oeniponti. Lib. III. S. 163.

**1637.**

15. Cartesius. *Dioptrice.* Lugd. Batav.

**1648.**

16 V. F. Plempius. *Ophthalmographia* Lovanii. B. III.

**1685.**

17. de la Hire. Journ. d. Sçavans S. 398

**1693.**

18. Sturm. *Dissertatio visionem ex obscurae camerae tenebris illustrans.* Altdorfii. S. 172.

**1697.**

19. Sturm. *Dissertatio de presbyopia et myopia.* Altdorfii.

**1712.**

10 A. F. Walther. *Dissertatio de lente crystallina oculi humani.* Lipsiae — Auch in Haller's Disput. anat. Vol. IV

**1715.**

11 G. Bidloo. *Observationes de oculis et visu variorum animalium.* Ludg. Batav.

**1719.**

12. Pemberton. *Dissertatio de facultate oculi qua ad diversas distantias se accommodat.* Lugd. Batav.

**1738.**

13 J. J Platner. *De motu ligamenti ciliaris in oculo.* Lipsiae. S. 5.

1742.

2144. J. P. Lobé (Albinus). *Dissertatio de oculo humano.* Lugd. Batav. S. 119. - in Haller's Disput. anat. Vol. VII.

1743.

2145. A. Haller. *Elementa Physiologiae.* T. V. S. 516.

2146. le Moine. *Quaestio an obliqui musculi retinam a crystallino removeant.* I

1746.

2147. P. Camper. *Dissertatio physiologica de quibusdam oculi partibus.* Lugd. S. 23. — Auch in Haller's Disput. anat. Vol. IV.

1749.

2148. Buffon. *Histoire naturelle.* Paris. T. III. S. 331.

1755.

2149. le Roy. Memoir. de l'Acad. de Paris. S. 594.

2150. Boerhave. *Praelectiones academicae, edit. et not. add. Alb. a Haller.* Vol. III. S. 121.

1758.

2151. v. Grimm. *Dissertatio de visu.* Gottingae.

1759.

2152. Porterfield. *On the eye.* Edinburgh. Vol. I. S. 450. — Edinb. med. IV. S. 124.

1768.

2153. Molinetti in Hallers Elementa physiologiae. V. S. 511.

1771.

2154. Le Roy. *Mémoire sur le mécanism par lequel l'oeil s'accommode aux dif distances des objets.* Paris.

1788.

2155. Olbers. *Dissertatio de oculi mutationibus internis.* Gottingae.

1793.

2156. Th. Young. *Observations on vision.* Philos. Trans. P. II. S. 169.

1794.

2157. J. Hunter. *On the crystalline humour of the eye.* Philos. Transact. S. 21.

1795.

2158. Home. Philos. Transact. P. I. S. 1. (Accommodation nach Staaroperation.)

1796.

2159. Home. Philos. Transact. P. 1. S. 1.

1797.

2160. Klügel. Reil's Arch. II. S. 51. (Gegen Home.)

1800.

2161. Th. Young. *De corporis humani viribus conservatricibus.* Gottingae. — I Transact. for 1800. S. 146.

1801.

2162. Monro. Altenburger Ann. f. d. Jahr 1801. S. 97.

2163. Himly. *Ophthalmologische Beobachtungen und Untersuchungen.* Bremen.

2164. *Th. Young. *On the mechanisme of the eye.* Philos. Transact. P. I. S. 23*. Arbeit von bewunderungswürdigem Scharfsinn und Erfindungskraft, welche ständig geeignet war, schon zu ihrer Zeit den Streit über die Accommodati entscheiden, aber durch ihre Kürze oft schwer verständlich wird und aufs die vollständigste Kenntnifs der mathematischen Optik voraussetzt.)

1802.

2165. Home. Philos. Transact. P. I. S. 1. (Adaptation bei Staaroperirten.)

2166. J. A. Albers. *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Thiere.* Heft 1. Br

1804.

2167. Graefe. Reil's Arch. f. Physiol. IX. S. 231.

1809.

2168. Cuvier. *Vorlesungen über die vergleichende Anatomie.* — Uebers. v. Meckel. Lei II. S. 369.

1811.

2169. Wells. Philos. Transact. P. II. — Gilberts Ann. XLIII. S. 129 u. 141.

**1816.**

0. MAGENDIE. *Précis élémentaire de Physiologie.* I. S. 73. Paris. Uebers. v. Elsässer. Tübingen. 1834. I. S. 54.

**1820.**

1. G. PARROT. *Entretiens sur la physique.* Dorpat. III. S. 434.

**1821.**

2. JACOBSON. *Suppl. ad Ophthalm.* Kopenhagen.
3. C. H. WELLER. *Diätetik für gesunde und schwache Augen.* Berlin. S. 225.

**1823.**

4. J. POPPE. *Die ganze Lehre vom Sehen.* Tübingen. S. 153.
5. RUDOLPHI. *Grundriſs der Physiologie.* Berlin. II. Abth. 1. S. 9.
6. LEHOT. *Nouvelle théorie de la vision.* Paris.
7. PURKINJE. *De examine physiologico organi visus et systematis cutanei.* Vratislaviae. (Entdeckung der Linsenreflexe.)

**1824.**

8. D. BREWSTER. Edinb. Journ. of Sc. I. S. 77. — Pogg. Ann. II. S. 271.
9 SIMONOFF. Magendie's Journal d. Phys. T. IV.

**1825.**

0. PURKINJE. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* Berlin. S. 128*.

**1826.**

1. J. MÜLLER. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig. S. 212.
2. HUECK. *Dissertatio de mutationibus oculi internis.* Dorpati.
3. MILE. Magendie's Journal d. Phys. VI. S. 166.

**1828.**

4. TREVIRANUS. *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge des Menschen und der Thiere.* Heft I.

**1831.**

5. MORTON. Americ. Journ. of med. sc. Novbr.

**1832.**

6. RITTER. Graefe u. Walther's Journ. VIII. S. 347.
7. FR. ARNOLD. *Untersuchungen über das Auge des Menschen.* Heidelberg. S. 98.
8. G. J. LUCHTMAN. *Dissertatio de mutatione axis oculi secundum diversam distantiam objecti ejusque causa.* Traject. ad Rhenum.

**1833.**

9. TH. SMITH. Philos. Mag. V. 3. No. 13. — Schmidt's Jahrb. d. Med. 1834. I. S. 6.

**1834.**

0. DUGÈS Institut. No. 73.

**1835.**

1. SERRE. Bullet. de Thérap. T. VIII. L. 4.

**1836.**

2. VOLKMANN. *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* S. 109.
3. R. H. KOHLRAUSCH. *Ueber Treviranus' Ansichten vom deutlichen Sehen in der Nähe und Ferne.* Rinteln.

**1837.**

4. SANSON. *Leçons sur les maladies des yeux, publiées par Bardinot et Pigné.* Paris. (Ueber die Reflexe der Krystalllinse.)
5. MILE. Pogg. Ann. XLII. S. 37 u. 235.

**1838.**

6. PASQUET, Froriep's Notizen. Bd. VI. No 2.

**1839.**

7. J. F. FRIES. *Ueber den optischen Mittelpunkt im menschlichen Auge, nebst allgemeinen Bemerkungen über die Theorie des Sehens.* Jena. S. 27.

**1840.**

8. NEUBER. Osann's Zeitschr. Heft 7 -12. S. 42.

**1841.**

9. HUECK. *Die Bewegung der Krystalllinse.* Leipzig
0. BONNET. Frorieps Neue Notizen. S. 233.

**1842.**

1. DE HALDAT. Compt. Rend. 1842.
2. ADDA. Ann. de Chim. et de Phys. Ser III. T. XII. S. 94.

2203. A. BUROW. *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges.* S. [illegible] bis 177*
2204. S. PAPPENHEIM. *Die specielle Gewebelehre des Auges.* Breslau.
2205. THALHEIM. *De oculi mechanismo, imprimis vi objectis se accommodandi.* Inau[g] Diss. Halle.

**1844.**

2206. MOSER. Repert. d. Phys. V. S. 364.

**1845.**

2207. STURM. *Sur la théorie de la vision.* Compt. Rend. XX. S. 554, 761 u. 123[8]. · Pogg. Ann. LXV. S. 116.
2208. FORBES· Compt. Rend. XX. S. 61. — Institut. No. 576. S. 15. No. 578. S. [illegible]
2209. DE HALDAT. Compt. Rend. XX. S. 458 u. 1561. — Institut. No. 596. S. 90 (ge[gen] Forbes).

**1846.**

2210. E. BRÜCKE. *Ueber den Musculus Cramptonianus und den Spannmuskel der Cho[r]idea.* Berl. Ber. 29. Mai. Müllers Arch. S. 370.
2211. F. C. DONDERS. Ruete Leerb. d. Ophthalm. S. 110.
2212. H. MEYER. Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rat. Med. Bd. V. (Ursprung der Linse reflexe.)
2213. SENFF in *R. Wagner's Handwörterb. d. Physiol.* Art.: Sehen von Volkma[nn] S. 303.
2214. BESIO Giorn. Arcad. CV. 3. Institut. No. 666. S. 338.
2215. J. G. CRAHAY. Bullet. de Bruxelles. XII. 2. S. 311. — Institut. No. 644. S. 15[illegible]

**1847.**

2216. L. L. VALLÉE. Compt. Rend. XXV. S. 501.

**1848.**

2217. VALENTIN. *Lehrbuch der Physiologie.* II. Abth. 2. S. 122.
2218. SZOKALSKY in Griesinger's Arch. f. physiol. Heilkde. VII. S. 694.

**1849.**

2219. M. LANGENBECK. *Klinische Beiträge aus dem Gebiete der Chirurgie und Ophthal[mo]logie.* Göttingen.
2220. F. C. DONDERS. Nederl. Lancet. S. 146.

**1850.**

2221. F. C. DONDERS. *Reflectieproef van Purkinje en Sanson en accommodatie van h[et] oog, naar Max Langenbeck.* Nederl. Lancet. S. 132.
2222. JOS. ENGEL. Prag. Vierteljahresschr. XXV. S. 167 u. 208.
2223. H. MAYER. Prag. Vierteljahresschr. XXVIII. Aufserordentl. Beil. u. XXXII. S. [illegible]
2224. HENLE. Canstatt's Jahresber. f. 1849. Erlangen. S. 71.
2225. W. C. WALLACE. *The accommodation of the eye to distances.* New-York.
2226. C. WEBER. *Nonnullae disquisitiones quae ad facultatem oculum rebus longinqui[s] propinquis accommodandi spectant.* Marburgi.
2227. C. STELLWAG VON CARION. Wien. Zeitschr. d. Ges. d. Ärzte. VI. S. 125 u. 13[8].
2228. A. HANNOVER. *Bidrag til Oiets Anatomie, Physiologie og Pathologie.* Kjöbenha[vn] S. III.

**1851.**

2229. F. C. DONDERS. *Ophthalmologische aanteekingen. Accommodatievermogen.* Nederl. Lanc[et] S. 600.
2230. H. HELMHOLTZ. *Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut i[m] lebenden Auge.* Berlin. S. 37.*
2231. LISTING. Art.: *Dioptrik des Auges* in R. Wagners Handwörterbuch d. Phys[iol.] IV. S. 498*.
2232. A. CRAMER. Tidschr. d. Maatschappy vor Geneeskunde. W. 11. S. 115. Nede[rl.] Lancet. Ser. 2. W. 1. S. 529.
2233. CLAVEL. Compt. Rend. XXXIII. S. 259. — Arch. des sc. phys. et natur. XIX. S. 7[illegible]

**1852.**

2234. F. C. DONDERS. Nederl. Lancet. Febr. S. 529.

**1853.**

2235. H. HELMHOLTZ. *Ueber eine bisher unbekannte Veränderung am menschlichen Au[ge] bei veränderter Accommodation.* Mon.-Ber. d. Akad. zu Berlin. 3. Febr. S. 137–13[illegible]

6. *A. Cramer. *Het Accommodatievermogen der Oogen physiologisch toegelicht.* Haarlem.
7. L. u. A. Fick in J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 449*.

**1854.**

8. F. C. Donders. Onderz. ged. in het Physiol. Laborat. der Utrecht'sche Hoogeschool, Jaar VI. S. 61.
9. J. Czermak. Prag. Vierteljahresschr. XLIII. S. 109.
0. A. Hasenpat. *De accommodandi facultate.* Berolini.

**1855.**

1. A. Cramer. *Physiologische Abhandlung über das Accommodationsvermögen der Augen.* Aus d. Holländ. übersetzt v. Doden, eingeführt durch Stellwag v. Carion. (Preisschr.) Leer.
2. *H. Helmholtz. *Ueber die Accommodation des Auges.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 1. (2.) S. 1—74.
3. Ruete. *De Irideremia congenita.* Progr. acad. Leipzig. — Virchow's Arch. XII. S. 342.
4. van Reeken. *Ontleedkundig Onderzoek van den toestel voor accommodatie van het oog.* Onderzoekingen gedaan in het Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogeschool. Jaar. VII. S. 248—286.

**1856.**

5. J. P. Maunoir. *Mémoire sur l'ajustement de l'œil aux différentes distances.* Arch. d. sc. phys. XXXI. S. 309—316.
6. Breton. *Adaptation de la vue aux différentes distances, obtenue par une compression mécanique, exercée sur le globe oculaire.* Compt. Rend. XLIII. S. 1161—1162. — Inst. S. 455. — Cosmos. IX. S. 690. X. S. 29—30.
7. Goodsir. *Notice respecting recent discoveries on the adjustment of the eye to distinct vision.* Proc. of Edinb. Soc. III. S. 343—345 — Edinb. Journ. (2.) III. S. 339—342.

**1857.**

8. Stoltz. *Accommodation artificielle ou mécanique de l'œil à toutes les distances.* Compt. Rend. XLIV. S. 388—390, 618—620. — Arch. d. sc. phys. XXXV. S. 139. — Cimento. VI. S. 154—155. — Cosmos. X. S. 320—321
9. Bahr. *De oculi accommodatione experimenta nova.* Diss. Berlin.
0. Th. H. Berger. *De oculi humani functione accommodativa.* Berlin.
1. H. Müller. *Ueber einen ringförmigen Muskel am Ciliarkörper.* Arch. f. Ophthalm. III. (1. IV. (2.) S. 277—285.

**1858.**

2. W. Manz. *Anatomisch-physiologische Untersuchungen über die Accommodation des Fischauges.* Diss. Freiburg.

**1859.**

3. J. Mannhardt. *Bemerkungen über den Accommodationsmuskel und die Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. IV. (1.) S. 269—285.
4. Ch. Archer. *On the adaptation of the human eye to varying distances.* Phil. Mag. (4.) XVII. S. 224—225.
5. Respighi. *Sull' accommodamento dell' occhio humano per la visione distinta.* Mem. di Bologna VIII. 355—389. — Zeitschr. f. Chem. S. 10—18.
6. Magni. *Dell' addatamento dell'occhio umano alla visione distinta.* Cimento. X. S. 12—20.

**1860.**

7. J. H. Knapp. *Über die Lage und Krümmung der Oberflächen der menschlichen Krystalllinse und den Einfluss ihrer Veränderungen bei der Accommodation auf die Dioptrik des Auges.* Arch. f. Ophthalm. VI. (2.) S. 1—52. VII. (2.) S. 136—138.
8. W. Henke. *Der Mechanismus der Accommodation für Nahe und Ferne.* Arch. f. Ophthalm. VI. 2. S. 53—72.
9. L. Happe. *Die Bestimmungen des Sehbereichs und dessen Correction, nebst Erläuterungen über den Mechanismus der Accommodation.* Braunschweig.

**1861.**

0. A. v. Graefe. *Fall von acquirirter Aniridie als Beitrag zur Accommodationslehre.* Arch. f. Ophthalm. VII. (2.) S. 150—161.

**1863.**

2261. O. Becker. *Lage und Function der Ciliarfortsätze im lebenden Menschen*
Wien. Med. Jahrb.
2262. Witter. *Ueber den Grund der accommodatorischen Formveränderung der Lin*
Arch. f. Ophthalm. IX. (1.) S. 207.

**1864.**

2263. E. Förster. *Zur Kenntniß des Accommodationsmechanismus.* Sitzgs.-Ber. d. Ophthal
Ges. Erlangen. S. 75—86. — Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. Septbr. bis Decbr.

**1865.**

2264. B. Rosow. *Zur Ophthalmometrie.* Arch. f. Ophthalm. XI. (2.) S. 129—134.
2265. L. Mandelstamm. *Zur Ophthalmometrie.* Arch. f. Ophthalm. XI. (2.) S. 259—
2266. Heiberg. *Zur Anatomie und Physiologie der Zonula Zinnii.* Arch. f. Ophthal
XI. 3. S. 168.
2267. F. C. Donders. *Pupil-beweging bij accommodatie.* Nederl. Arch. voor Genees- e
Naturk. II.

**1866.**

2268. v. Trautvetter. *Ueber den Nerv der Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. II
(1.) S. 95.
2269. C. Völkers u. V. Hensen. *Studien über die Accommodation.* Centralbl. f. d. me
Wiss. No. 46.

**1868.**

2270. A. Coccius. *Der Mechanismus der Accommodation des menschlichen Auges na*
*Beobachtungen im Leben.* Leipzig.
2271. H. Dor. *Ueber einen außergewöhnlichen Fall von Lähmung der Accommodatio*
Bern. Mitth. S. 24—25.
2272. V. Hensen u. C. Völckers. *Experimentaluntersuchung über den Mechanismus d*
*Accommodation.* Kiel.
2273. H. Kaiser. *Die Mechanik der Accommodation des Auges.* Arch. f. Anat. u. Physiol
S. 350.
2274. A. Pliqué. *Étude sur le mécanisme des mouvements intraoculaires et théorie d*
*l'accommodation.* Paris.
2275. Schumann. *Ueber den Mechanismus der Accommodation des menschlichen Auge*
Dresden.

**1869.**

2276. M. Woinow. *Zur Frage über die Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. XV. 2
S. 167—172.

**1870.**

2277. E. Adamück. *Bijdrage tot het mechanisme der accommodatie.* Versl. Nederl. Gas
v. Oogl. No. 11. S. 165. — Nederl. Arch. v. Gen. en Naturk. V. S. 453.
2278. — *Zur Frage über den Mechanismus der Accommodation.* Centralbl. f. d. med
Wiss. S. 292.
2279. — *Bijdrage tot de physiologie van den N. oculomotorius.* Ond. i. h. physiol. Lab
te Utrecht. II. 3. S. 398. — Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 65.
2280. H. Heiberg. *Die Peripherie der Descemet'schen Haut und ihr Einfluß auf d*
*Accommodation.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 80.
2281. M. Langenbeck. *Zur Lehre von der Accommodation.* Memorabilien. S. 197
2282. J. O. Macdonald. *On the minute anatomy of some parts concerned in the function*
*of accommodation to distance, with physiologic notes.* The quarterl. Journ. of med
sc. July. S. 230.
2283. J. Mannhardt. *Bemerkungen uber den Accommodationsmuskel und die Accommodation*
Arch. f. Ophthalm. S. 269.
2284. R. Schirmer. *Beitrag zur Lehre von der Accommodation.* Berl. klin. Wochenschr
S. 232.

**1871.**

2285. E. Adamuck. *Bijdrage tot het mechanisme der accommodatie.* Onderz. in het physiol.
Lab. te Utrecht II. 3. S. 403.
E. Adamück u. M. Woinow. *Ueber die Pupillen-Veränderungen bei der Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. XVII. 1. S. 158.
X. Galezowski. *Quelques aperçus sur l'accommodation de l'œil.* Gaz. hebdom.
No. 20.

**1872.**

8. J. Frankl. *Der Accommodationsapparat des menschlichen Auges.* Oesterr. Zeitschr. f. prakt. Heilkde.
9. F. P. Le Roux. *Sur la multiplicité des images oculaires et la théorie de l'accommodation.* Compt. Rend. Bd. 75. S. 1268—71. — Mondes. (2.) XXIX. S. 549.

**1873.**

0. V. Hensen u. C. Volckers. *Ueber die Accommodationsbewegung der Chorioidea im Auge des Menschen, des Affen und der Katze.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 156.
1. A. Norton. *On the accommodation of vision and the anatomy of the ciliary body.* Proc. of the Roy. Soc. of London. XXI. S. 423—425.
2. — *The mechanisme of the accommodation of the eye.* Brit. med. Journ. 6. Decbr.
3. Pr. Smith. *The mechanism of the accommodation of the eye.* Brit. med. Journ. 6. Decbr.

**1874.**

4. Duwez. *Du mécanisme de l'accommodation.* Ann. d'Ocul. LXXI. S. 136.
5. W. Krenchel. *Ueber die Wirkung des Muscarins auf Accommodation und Pupille.* Arch. f. Ophthalm. XX. (1.) S. 127—134.

**1875.**

6. Dufour. *Rupture du ligament suspenseur du cristallin et mécanisme de l'accommodation* Bull. de la Soc. méd. de la Suisse romande.
7. J. Guérin. *La doctrine de l'accommodation* Gaz. des hôp. S. 1150.
8. G. Reuling. *Angeborener Mangel der Iris auf beiden Augen mit vollständiger Accommodationsfähigkeit.* Americ. Journ. of Nat. Sc. Bd. 137. S. 148.
9. Warlomont u. Nuel. *De la fonction du muscle ciliaire.* Ann. d'Ocul. LXXIV. Mai u. Juni.

**1876.**

0. Bauerlein. *Zur Accommodation des menschlichen Auges.* Würzburg.
1. A. Drouin. *Note pour démontrer qu'il n'y a pas de rapport direct entre l'état de l'accommodation de l'œil et le diamètre de la pupille.* Gaz. méd. de Paris. No. 28. S 329.
2. Hjort. *Die Ciliarfortsätze während der Accommodation.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XIV. S. 205—222.
3. L. V. Poulain. *Étude sur l'accommodation de l'œil.* Paris. Masson. 31 S.

**1877.**

4. E. Landolt. *Sur l'accommodation.* Progr. Med. No. 6

**1878.**

5. E. Adamuck. *Einige Bemerkungen in Beziehung der Arbeit von Hensen und Völckers „Ueber den Ursprung der Accommodationsnerven".* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 229—233.
6. Domec. *Die Accommodationstheorie Rosset's.* Americ. Journ. Octbr.
7. V. Hensen u. C. Volckers. *Ueber den Ursprung der Accommodationsnerven.* Arch. f. Ophthalm. XXIV. S 1—28
8. J. Hock. *Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung der meridionalen Längs- Fasern des Ciliarmuskels.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 43.
9. Rosset. *Der Accommodationsmuskel und seine Wirkungsweise.* Americ. Journ. N S. CLII. S. 349. — Centralbl. f. prakt. Augenheildke. 1879. S 115.

**1879.**

0. Bouchard. *Ueber Accommodation des Auges.* Rec. de mém. de méd. milit. XXXIV.
1. Coulon. *Étude sur le mécanisme de l'accommodation.* Thèse de Paris
2. Domec. *Der Accommodationsmuskel und seine Wirkungsweise.* Rec. d'Ophthalm.
3. D. Hunt. *A criticism of Dr. de Rosset's theory of the action of the muscle of accomodation.* New-York. med. Journ. No. 1.
4. G. Vilmain. *Essai sur la physiologie de l'accomodation.* Thèse de Paris 80 S

**1880.**

5. A. Angelucci. *Sulla durata degli atti accommodativi della lente comparati coi tempi impiegati dell' accommodazione subiettiva e dei movimenti dell' iride.* Arch. d'Ottalm. IX. S. 304—320.
6. Angelucci u. Aubert. *Beobachtungen über die zur Accommodation des Auges und die zur accommodativen Krümmungsveränderung der vorderen Linsenfläche erforderlichen Zeiten.* Pflüger's Arch. XXII. S. 69—86

2317. W. E. Briggs. *Notiz über die Bedeutung des Ligamentum iridis pe*
Wien. Ber. LXXIX. (3.)
2318. H. Schmidt-Rimpler. *Accommodation.* Real-Encykl. d. ges. Heilkde. Hera
A. Eulenburg. I. S. 572—578.
2319. — *Die Accommodationsgeschwindigkeit des menschlichen Auges.* Arch. f. O
XXVI. (1.) S. 103—114. — Sitzgs.-Ber. d. Ges. z. Beförd. d. ges. Naturw. zu
No. 6. Aug. 1879.

1881.

2320. E. Emmert. *Der Mechanismus der Accommodation des menschlichen Aug*
f. Augenheilkde. X. S. 342—365 u. 407—429.

1882.

2321. C. Ayres. *The physiology of accommodation.* New-York. med. Journ. XXX
2322. E. Emmert. *Die Gröfse des Gesichtsfeldes in Beziehung zur Accommodatio*
f. Augenheilkde. XI.
2323. S. Exner. *Ueber die Function des Musculus Cramptonianus.* Wien. Akad. Be
S. 1—10.
2324. E. Javal. *Théorie de l'accommodation.* Soc. de biol. 6. Mai. Gaz. d. hôp

1883.

2325. H. Cohn. *Ein Modell des Accommodationsmechanismus.* Centralbl. f. prakt
heilkde. April.
2326. Dessauer. *Zur Zonulafrage.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXI. S. 8
2327. Hocquard u. A. Masson. *Étude sur les rapports, la forme et le mode de*
*sion du cristallin à l'état physiologique.* Arch. d'Ophthalm. III. S. 97.
2328. E. Javal. *Déformation cristallienne et cornéenne dans l'accommodation.* Soc. de
2329. Kazaurow. *Ueber den Einflufs der Accommodation des Auges auf Veränder*
*Grenzen des Gesichtsfeldes.* Wratsch No. 2.

1884.

2330. A. Hoffmann. *Ueber Beziehungen der Refraction zu den Muskelverhältnis*
*Auges.* Strafsburg. 71 S. — Arch. f. Ophthalm. XXX. 3. S. 301.

1885.

2331. J. W. Barret. *The velocity of accommodation.* Journ. of Phys. VI. S. 46.
2332. Deeren. *Étude sur le mecanisme de l'accommodation.* Rec. d'Ophthalm.
2333. H. Virchow. *Die Accommodation bei den Thieren.* Arch. f. Phys. S. 571.
2334. Weidlich. *Accommodation und Pupillenspiel.* Arch. f. Augenheilkde. XV.

1886.

2335. W. B. Canfield. *Vergleichend anatomische Studien über den Accommod*
*apparat des Vogelauges.* Arch. f. mikr. Anat. Bd. 28. S. 121—170.
2336. E. E. Furney. *A theory of the mechanism of accommodation.* Americ. Jou
Ophthalm. III. S. 9.
2337. Giraud-Teulon. *Rapport sur un mémoire du docteur Zimmermann, relati*
*nouvelle théorie de l'accommodation de l'oeil aux distances.* Bull. Acad. de
XV. S. 440.
2338. Randall. *The mechanism of accommodation and a model for its demons*
Americ. Journ. of Ophthalm. III. S. 91.
2339. Schneller. *Accommodation durch Axenverlängerung des Auges.* Tage
59. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 390.
2340. W. Schön. *Vorrichtung zur Veranschaulichung der Accommodation.* Tag
59. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 415.
2341. — *Ueberanstrengung der Accommodation und deren Folgezustände.* Arch. f.
heilkde. XVII. S. 1. — Tagebl. d. 59. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in
S. 385.
2342. Zimmermann. *Nouveaux éléments à la théorie musculaire de l'accommodation*
méd. V. S. 60.

1887.

2343. W. J. Collins. *An argument in favor of meridional accommodation.* Opht
Hosp. Reports. XI. S. 343.
2344. Sattler. *Anatomische und physiologische Beiträge zur Accommodation.* B
XIX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 3.

5. W. Schön. a) *Accommodationsmodell.* b) *Ueber die Veränderungen des Auges in Folge der Accommodation bei fortschreitendem Lebensalter.* Ber. d. XIX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 162.

6. — *Der Accommodationsmechanismus.* Du Bois' Arch. f. Physiol. S. 224.

**1888.**

7. H. Aubert. *Über die Schön'sche Theorie des Mechanismus der Accommodation.* Rostocker Ztg. No. 281.

8. A. Charpentier. *Influence inhibitoire de l'excitation de la rétine sur la contractions des muscles de l'œil.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. V. S. 596.

9. — *Influences diverses sur la contraction des muscles de l'œil.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. V. S. 621.

0. W. H. Jessop. *The pupil and accommodation.* Ophthalm. Rev. S. 161—225.

**1889.**

1. Gallenga. *Della misura del tempo nelle determinazione dell' accomodamento.* Parma. L. Battei.

2. Hoquart. *Physiologie, anatomie et pathologie de l'appareil accommodateur.* Arch. d'Ophthalm. IX. S. 358.

**1890.**

3. C. Decker. *Accommodationskrampf, hervorgerufen durch einen Fremdkörper, der seit sechs Jahren im Glaskörper liegt, ohne weitere Reizerscheinungen zu verursachen.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXVIII. S. 500—501.

4. G. C. Harlan. *A case of traumatic dislocation of the lens illustrating the theory of visual accommodation.* Med. News. Philadelphia. VI. S. 354.

5. J. P. Morat und M. Doyon. *Le grand sympathique nerf de l'accommodation pour la vision des objects éloignés.* Compt. Rend. CXII. S. 1327—1329.

**1892.**

6. Th. Beer. *Studien über die Accommodation des Vogelauges.* Pflüger's Arch. Bd. 53. S. 175—237.

7. C. Nicolai. *Over het mechanisme der accommodatie.* Erste Vergadering van het Nederlandsch Oogheelkundig Gezelschap Rotterdam. Weekblad. No. 26. S. 911.

8. C. E. Seashore. *On monocular accommodation-time.* Studies from the Yale psychol. Labor. 1892.93. S. 56.

9. M. Tscherning. *Note sur un changement jusqu'à présent inconnu, que subit le cristallin, pendant l'accommodation.* Arch. de Phys. norm. et pathol. Série V. T. 4. S. 158—164. — Arch. d'ophthalm. XII. S. 168—174.

**1893.**

0. Th. Guilloz. *Sur l'existence d'un astigmatisme cristallinien accommodatif.* Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 676.

1. A. Michel. *Beitrag zur Frage der Accommodation.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXI. S. 223—251, 267—296.

2. M. Tscherning. *Le mécanisme de l'accommodation.* Extrait d. Ann. de la Policl. de Paris.

**1894.**

3. Th. Beer. *Die Accommodation des Fischauges.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Phys. Bd. 58. S. 523—650.

4. J. Bjerrum. *Accommodationsmechanismen.* Med. Aarsskrift. Kopenhagen.

5. O. Lange. *Zur Lehre von der Accommodationswirkung auf das Auge.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXII. S. 94—96.

6. C. Nicolai. *Ueber den Mechanismus der Accommodation.* Diss. Nymwegen u. Heidelberg. 29 S.

7. M. Tscherning. *Etude sur le mécanisme de l'accommodation.* Arch. de Phys. (5.) VI. S. 40—53.

7a. — *La déformation de la cristalloide antérieure pendant l'accommodation.* Compt. Rend. de la Soc. fr. d'Ophthalm.

## § 13.

# Von der Farbenzerstreuung im Auge.


1704.

2368. J. Newton. *Optics.* B. I. P. II. Prop. VIII*.

1747.

2369. L. Euler. *Sur la perfection des verres objectifs des lunettes.* Mém. de Berlin.

1753.

2370. L. Euler. *Examen d'une controverse sur la loi de réfraction des rayons de di couleurs par rapport à la diversité des milieux transparents par lesquels transmis.* Mém. de Berlin. 1753. S. 249.

1754.

2371. L. Euler. *Recherches physiques sur la diverse réfrangibilité des rayons de* Mém. de Berlin. 1754. S. 260.

1767.

2372. d'Alembert. *Nouv. recherches sur les verres optiques.* Mém. de l'Acad. d S. 81*.

1789.

2373. Maskelyne. Phil. Transact. LXXIX. S. 256*.

1798.

2374. Comparetti. *Observationes de coloribus apparentibus.* Patavini.

1801.

2375. Th. Young. Phil. Transact. P. I. S. 50*.

1805.

2376. Mollweide. Gilbert's Ann. XVII. S. 328 u. XXX. S. 220.

1814.

2377. *J. Fraunhofer. Gilbert's Ann. LVI. S. 304. — Schumacher's astronom Altona. 1823. Heft II. S. 39.

1826.

2378. J. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinns.* Leipzig. S. 195 u

1830.

2379. *Tourtual. *Ueber Chromasie des Auges.* Meckel's Arch. S. 129*.

1837.

2380. Mile. Pogg. Ann. XLII. S. 64.

1842.

2381. A. Niedt. *De dioptricis oculi coloribus ejusque polyopia.* Diss. Berlin.

1847.

2382. A. Matthiessen. Compt. Rend. XXIV. S. 875; — Institut. No. 698. S. 1 Pogg. Ann. LXXI. S. 578*; — Froriep's Notizen. III. S. 341; — Arch. phys. et nat. V. S. 221; — Berl. Ber. S. 183*.

2383. L. L. Vallée. Compt. Rend. XXIV. S. 1096; — Berl. Ber. S. 184*.

1849.

2384. J. D. Forbes. Proc. Edinb. Roy. Soc. Decbr. 3. S. 251; — Sillimann's Jour XIII. S. 413; Berl. Ber. 1850. S. 492*.

1852.

2385. L. L. Vallée. Compt. Rend. XXXIV. S. 321; — Berl. Ber. S. 308*.

1853.

2386. L. L. Vallée. *Sur l'achromatisme de l'œil.* Compt. Rend. XXXVI. S. 142- 480—482.

1855.

2387. Czermak. *Zur Chromasie des Auges.* Wien. Sitzgs.-Ber. XVII. S. 563.

1856.

2388. A. Fick. *Einige Versuche über die chromatische Abweichung des mensch Auges.* Arch. f. Ophthalm. II. 2. S. 70—76.

**1858.**

389. F. Laser. *De achromasia oculi humani.* Regiomani.

**1862.**

390. F. P. Le-Roux. *Expériences destinées à mettre en évidence le défaut d'achromatisme de l'œil.* Ann. de chimie. (3.) LXVI. S. 173—182. — Cosmos. XX. S. 638—639.

391. Trouessart. *Défaut d'achromatisme de l'œil.* Presse scientifique. S. 72—74.

**1863.**

392. B. A. Pope. *Das Farbenspectrum als Mittel zur Messung der Accommodation und der chromatischen Abweichung des Auges.* Arch. f. Ophthalm. IX. (1.) S. 41.

**1867.**

393. Trouessart. *Achromatisme de l'œil.* Mondes. (2.) XIV. S. 591—595.

**1868.**

394. W. v. Bezold. *Ueber Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut.* Arch. f. Ophthalm. XIV. (2.) S. 1.

**1869.**

395. W. v. Bezold. *Ueber objective Darstellung von Zerstreuungsbildern.* Arch. f. Ophthalm. XV. (3.) S. 281—283.

96. — *Versuche über Zerstreuungsbilder.* Pogg. Ann. Bd. 138. S. 554—560.

**1870.**

97. W. v. Bezold. *Sur les images de diffusion.* Ann. de chim. (4.) XX. S. 225.

**1875.**

98. M' Leod *Some observations on the defects of the human eye as regards achromatism.* Chem. News. XXXI. S. 170. Phys. Soc. April 1875.

**1877.**

99. S. P. Thompson. *On the chromatique aberration of the eye in relation to the perception of distance.* Philos. Mag. Juli 1877.

**1880.**

00. Prompt. *Note sur le défaut de l'achromatisme de l'œil.* Arch. de physiol. Jan.—Febr.

**1881.**

01. Provenzali. *Sull' acromatismo dell' occhio.* Atti dell' Acc. pont. de Nuovi Lincei. XXXIV. Sess. I—III. Roma.

**1882.**

02. Provenzali. *Sull' acromatismo dell' occhio.* Riv. scientif ind. XIII. No. 21—22.

**1887.**

03. O. Tumlirz. *Ueber ein einfaches Verfahren, die Farbenzerstreuung des Auges direct zu sehen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 394.

04. M. Wolf. *Ein Versuch zur Berechnung der chromatischen Längenabweichung des menschlichen Auges.* Ber. d. 19. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 39.

**1888.**

05. M. Wolf. *Ueber die Farbenzerstreuung im Auge.* Wiedem. Ann. Bd. XXXIII. S. 548.

---

## § 14.

## Monochromatische Abweichungen.

### 1. Aeltere Litteratur.

**1694.**

06. de la Hire. *Accidens de la vue.* Mém. de l'Acad. de Paris. S. 400.

**1738.**

07. Jurin. *Essay on distinct and indistinct vision.* Smith's Optics. S. 156.

**1739.**

08. Helsham. *A course of lectures in natural philosophy.* London.

1740.

2409. Wintringham. *Experimental inquiry on some parts of the animal structure.*

1801.

2410. Th. Young. *On the mechanism of the eye.* Philos. Transact. for 1801. I. S

1809.

2411. Hassenfratz. *Sur la forme apparente des étoiles et des lumières, vues à une grande distance et sous un très-petit diamètre.* Ann. de Chimie. T. LXXII.

1810.

2412. G. H. Gerson. *De forma corneae oculi humani deque singulari visus phen* Gottingae.

1818.

2413. Fischer. *Über gewisse Gesichtserscheinungen.* Berliner Denkschriften für u. 1819. S. 46.

1819.

2414. Purkinje. *Beiträge zur Kenntniſs des Sehens.* Prag. S. 113—119*.

1824.

2415. Péclet. Ann. d. Chimie et d. Phys. LIV. S. 379; Pogg. Ann. XXXIV. S

2416. Aimée. Ann. d. Chimie et d. Phys. LVI. S. 108.

1825.

2417. G. B. Airy. Transact. of the Cambridge Phil. Soc. Vol. II. S. 267—271.

2418. Purkinje. *Neue Beiträge zur Kenntniſs des Sehens.* Berlin. S. 139—146, 1

2419. D. Brewster. Edinb. Journ. of Sc. XIV. S. 322. (Ueber Airy's Auge.)

1830.

2420. F. Szokalski. *Sur la diplopie unioculaire ou double vision d'un œil.* Diss.

1842.

2421. A. Niedt. *De dioptricis oculi coloribus ejusque Polyopia.* Diss. Berolini.

1845.

2422. Guérard. Institut. No. 581. S. 64.

2423. Sturm. *Mémoire sur la théorie de la vision.* Compt. Rend. T. XX. S. 55 u. 1238.

1846.

2424. Volkmann. Art.: *Sehen*, in R. Wagner's Handwörterb. f. Physiologie.

1847.

2425. Challis. Phil. Mag. (3.) XXX. S. 366; — Transact. of the Cambr. Phil. S

1848.

2426. H. Meyer. Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rat. Med. V. S. 368.

2427. Heineken. Phil. Mag. (3.) XXXII. S. 318.

2428. Hamilton. Froriep's Notizen. VII. S. 219.

2429. Schnyder. Verh. d. schweiz. nat. Ges. S. 15.

1849.

2430. Wallmark. Oefvers. af Akad. förhandlingar. S. 41; — Pogg. Ann. LXXXII. S

1850.

2431. Cranmore. Phil. Mag. (3.) XXXVI. S. 485.

2432. Baudrimont. Compt. Rend. de l'Acad. d. sc. XXXIII. S. 496; Institut. No. 9 Phil. Mag. (4.) II. S. 575.

1851.

2433. A. Beer. *Über den Hof um Kerzenflammen.* Pogg. Ann. LXXXIV. S. 518.

2434. A. Fick. *De errore optico quodam asymmetria bulbi oculi effecto.* Marburg. in Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rat. Med. Neue Folge. II. S. 83.

1852.

2435. *Fliedner. *Beobachtungen über Zerstreuungsbilder im Auge, sowie über die I des Sehens.* Pogg. Ann. LXXXV. S. 321*, 460*. LXXXVI. 336*; Moigno Co I. S. 333.

2436. Trouessart. Compt. Rend. d. l'Acad. d. sc. XXXV. S. 134—136, 398; — Arc Genève. XX. S. 305; — Institut. S. 304.

2437. Stellwag von Carion. *Ueber doppelte Brechung und davon abhängige Polari des Lichtes im menschlichen Auge.* Wien. Sitzgs.-Ber. VIII. S. 82; — Denksc k. k. Acad. in Wien. V. 2. S. 172; — Zeitschr. d. Aerzte zu Wien. 1853. He u. 11; — Fechner's Centr.-Bl. 1854. S. 281—292.

38. A. Müller. *Ueber das Beschauen der Landschaften mit normaler und abgeänderter Augenstellung. (Angeblich von Astigmatismus herrührend.)* Pogg. Ann. LXXXVI. S. 147—152. — Cosmos. I. S. 336.
39. A. Beer. *Ueber den optischen Versuch des Herrn Libri.* Pogg. Ann. LXXXVII. S. 115—120.
40. J. Hippesley. *Phenomena of light.* Athen. S. 1069—1070 u. 1368.
41. R. W. H. Hardy. *Phenomena of light.* Athen. S. 1306.

1853.

42. G. Th. Fechner. *Ueber einige Verschiedenheiten des Sehens in verticalem und horizontalem Sinne nach verschiedenen Beobachtungen.* Fechner's Centralbl S. 73—85, 96—99, 374—379 u. 558—561.
43. L. L. Valée. *Théorie de l'œil.* Compt. Rend. XXXVI. S. 769—773 u. 865—867.
44. Fliedner. *Zur Theorie des Sehens* Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 29—44.
45 H. Meyer. *Ueber die sphärische Abweichung des menschlichen Auges.* Pogg. Ann. LXXXIX. S. 429 u. 540—568.
46. A. Beer. *Ueber den Hof um Kerzenflammen.* Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 595—597.
47 Powell. *On a peculiarity of vision.* Report of the Brit. Ass. 1852. 2. S. 11.

1854.

48. J. P. Depigny. *(Hof um Kerzenflammen.)* Arch. d. sc. phys. XXVI. S. 166—172.
49. A. Fick. Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. N. F. V. S. 277.
50. J. Gut. *Ueber Doppeltsehen mit einem Auge.* Diss. Zürich. — Henle und Pfeuffer's Zeitschr. (2.) IV. S. 395—400.

1855.

51. *Ueber den Gang der Lichtstrahlen im Auge.* Verh. d. naturf. Ges. in Basel. I. S. 269—282. Arch. d. sc. phys. XXXII. S. 145—146.
52. H. Meyer. *Ueber den die Flamme eines Lichts umgebenden Hof u. s. w.* Pogg. Ann. XCVI. S. 235—262, 603—607 u. 607—609.

1856.

53. H. Meyer. *Ueber die Strahlen, die ein leuchtender Punkt im Auge erzeugt.* Pogg. Ann. XCVII S. 233—240 XCVIII. S. 214—242

1857.

54. van der Willigen. *Eine Lichterscheinung im Auge.* Pogg. Ann. CII. S. 175 bis 176.
55. J. Tyndall. Philos. Mag. (4.) XI. S. 332. (Ein Fall, wo Interferenzringe im Gesichtsfelde erschienen, ähnlich denen eines mit Lycopodium bepulverten Glases.)

1858.

56. G. M. Cavallieri. *Sulla cagione del vedere le stelle e i punti luminosi affetti da raggi.* Cimento. VIII. S. 321—369.

1859.

57. Knapp. *Die Krümmung der Hornhaut des menschlichen Auges.* Heidelberg.

1860.

58 F. Zöllner. *Beiträge zur Kenntniss der chromatischen und monochromatischen Abweichung des menschlichen Auges* Pogg. Ann. CXI. S. 329—336. — Ann. de chim. (3.) LX. S. 506—509.

## 2. Regulärer Astigmatismus.

Weitere Litteratur über Hornhautastigmatismus ist in § 2 angegeben

1860.

59. Wharton Jones. *Analysis of my sight, with a view to ascertain the focal power of my eyes for horizontal and for vertical rays, and to determine whether they possess a power of adjustment for different distances.* Proc. of Roy. Soc. X. S. 380 385. Phil. Mag. (4. XX. S. 480—483.

1861.

60 F. C. Donders. *Beiträge zur Kenntniss der Refractions- und Accommodationsanomalien.* Arch. f. Ophthalm VII. 1. S 155- 204.

1862.

61. Förster. *Ophthalmologische Beiträge* Berlin. Enslin.

2462. J. H. Knapp. *Ueber die Asymmetrie des Auges in seinen verschiedenen Meridianen* Arch. f. Ophthalm. VIII. (2.) S. 185—241.
2463. Giraud-Teulon. *Causes et mécanisme de certains phénomènes de polyopie monoculaire* Compt. Rend. LIV. S. 904—906 u. 1130—1131. — Institut 1862. S. 138—139 u. 17
2464. F. C. Donders. *Astigmatismus und cylindrische Gläser.* Berlin.
2465. — *Astigmatisme en cylindrische glazen.* Utrecht.

**1863.**

2466. Bumstead. *Sur l'astigmatisme.* Améric. med. Times N. S. VII. S. 18.
2467. B. A. Pope. *Beiträge zur Optik des Auges.* Arch. f. Ophthalm. IX. (1.) S. 41—6
2468. C. Kugel. *Ueber die Wirkung schief vor das Auge gestellter sphärischer Brillengläser beim regelmäfsigen Astigmatismus.* Arch. f. Ophthalm. X. (1.) S. 89—96.
2469. — *Ueber Schiefsehen bei Astigmatismus.* Wien. med. Wochenschr. No. 27, 28 u. 2
2470. Middelburg. *De Zidplaats van het Astigmatisme.* Utrecht. Versl. Ned. Gasth. v Oogl. No. 4. S. 146.
2471. — *Der Sitz des Astigmatismus.* Graefe's Arch. X. (2.) S. 83.
2472. Ph. H. Knauthe. *Ueber Astigmatismus.* Diss. Leipzig.
2473. Derby Hasket. *Quatre cas d'astigmatisme.* Améric. med. Times. N. S. VII. 24.
2474. Rothmund. *Ueber Weit- und Uebersichtigkeit und über Astigmatismus.* Bayr. ärzt. Intelligenzbl. No. 19.
2475. Schweigger. *Ueber die Diagnose und Correction des Astigmatismus.* Arch. f. Ophthalm. IX. (1.) S. 178.

**1864.**

2476. F. C. Donders. *Der Sitz des Astigmatismus (nach Middelburg's Resultaten) und die Excursionen der Bewegungen des emmetropischen und ametropischen Auges (nach Schuurmann).* Arch. f. Ophthalm. X. (2.) S. 83—108. — Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. II. S. 92—245. III. S. 27.
2477. — *Anomalies of accommodation and refraction.* London. S. 449—556.
2478. J. H. Knapp. *Ueber die Diagnose des irregulären Astigmatismus.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 304—316.

**1865.**

2479. Businelli. *Un cas d'astigmatisme.* Giorn. d'Oftalm. Ital. VII. S. 10. — Ann. d'ocul. LIII. S. 258.
2480. A. Classen. *Ueber Metamorphopsie.* Arch. f. Ophthalm. X. (2.) S. 155. — Schmidt's Jahrb. CXXV. S. 228.
2481. L. Kugel. *Ueber die Sehschärfe bei Astigmatikern.* Arch. f. Ophthalm. XI. 1. S. 106—113.
2482. H. Kaiser. *Zur Theorie des Astigmatismus.* Arch. f. Ophthalm. XI. 3. S. 186—229
2483. X. Galezowski. *Étude sur la diplopie monophthalmique.* Ann. d'Ocul. LIV S. 199—208.
2484. — *Tableau synoptique de la réfraction de l'oeil, choix des lunettes.* Paris, Leclerc
2485. E. Javal. *Note sur le choix des verres cylindriques.* Ann. d'Ocul. LIII. S. 5
2486. — *Ueber ein neues Instrument zur Prüfung des Astigmatismus.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 336.
2487. — *Nouvelles règles à calcul.* Ann. d'ocul. LIII. S. 181.
2488. — *De la neutralisation dans l'acte de la vision.* Ann. d'ocul. LIV. S. 9.
2489. Hasner v. Artha. *Klinische Vorträge über Augenheilkunde.* 2. Abth.: *Krankheiten der Hornhaut etc.* Prag, Credner. S. 141—145.

**1866.**

2490. A. Burow. *Ueber Javal's règle à calcul.* Arch. f. Ophthalm. XII. 2. S. 308.
2491. John Green. *Toetslynen tot bepaling van astigmatisme.* Versl. Nederl. Gasth. v Oogl. No. 7. S. 155. Nederl. Arch. v. Gen. en Naturk. II.
2492. E. Javal. *Sur le choix des verres cylindriques.* Ann. d'Ocul. LV. S. 5—29.
2493. — *Histoire et bibliographie de l'astigmatisme.* Ann. d'Ocul. LV. S. 105—127.
2494. Laurent. *Étude sur l'histoire de l'art ophthalmologique.* Thèse de Paris. S. 74 u. 75.
2495. A. Nagel. *Historische Notiz über Hyperopie und Astigmatismus.* Arch. f. Ophthalm. XIII. 1. S. 25—30.

**1867.**

2496. J. Green. *Ueber die Auffindung und Messung von Astigmatismus* Americ. Journ. of med. Sc. Jan.

7. E. JAVAL. *De l'astigmatisme.* Rev. méd. II. S. 52.
8. — *Nouvel instrument pour la détermination de l'astigmatisme.* Ann. d'oculist. T. 57. S. 39.

**1868.**

9. O. BECKER. *Tafeln zur Bestimmung des Astigmatismus.* Wien.
0 W. DOBROWOLSKY. *Ueber verschiedene Veränderungen des Astigmatismus unter dem Einfluſs der Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. XIV. (3.) S. 51—105.
1. F. E. REUSCH. *Theorie der Cylinderlinsen.* Leipzig. Teubner.

**1869.**

2. E. BRUCKE. *Ueber asymmetrische Strahlenbrechung im menschlichen Auge.* Wien. Ber. LVIII. 2. S. 321—329.
3. JOHN GREEN. *On a new System for Tests for the Detection and Measurement of Astigmatism with an Analysis of sixty four Cases of refractive Anomalies observed by the aid of this Method.* Transact of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 131.
4. — *On a colour Test for Astigmatism.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 130.
5. E. JAVAL. *De la lentille de Stokes.* Ann. d'oculist. T. 61. S. 73.
6. H. D. NOYES. *Observations in Astigmatism.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. IV. V.
7. O. M. PRAY. *Test Type for Astigmatism.* Arch. f. Ophthalm. and Otolog. I. II. S. 17.
8. — *Probebuchstaben zur Prüfung des Astigmatismus.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. I. (1.) S. 147.
9. R. SCHIRMER. *Contributions à l'histoire de l'astigmatisme et de l'hypermetropie.* Ann. d'Ocul. LXII. S. 202.
0. H. SNELLEN. *De richting der hoofdmeridianen van het astigmatische oog.* Versl. Nederl. Gasth. v. Oogl. No. 10. S. 151. Arch. f. Ophthalm. XV. (2.) S. 191—207.

**1870.**

1. HEYMANN. *Astigmatismus-Tafeln nach Dr. Pray.* Leipzig. Engelmann.
2. H. SNELLEN. *De richting der hoofdmeridianen van het astigmatische oog.* Nederl. Arch. v. Gen. en Naturk V. S. 43.

**1871.**

3. E. BERLIN. *Zur Berechnung des Astigmatismus der Hornhaut.* Klin. Mon.-Bl. IX. S. 217.
4. G. HAY. *Ueber Knapp's allgemeine Formeln für astigmatische Strahlen und deren Special-Anwendung auf das Auge.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. II. (1.) S. 187.
5. STRAWBRIDGE. *An additional method for the determination of Astigmatisme.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 100—105.

**1873.**

6. E. JAVAL. *Des variations de l'astigmatisme.* Compt. Rend. de la soc. de Biol. 5 juill. S. 270.
7. — *Divers appareils pour la mesure de l'astigmatisme.* Compt. Rend. de la soc. de Biol. 5 juill. S. 303.
8. — *Appareil pour la mesure de l'astigmatisme.* Gaz med de Paris.
9. H. SNELLEN. *Die Stokes'sche Linse mit constanter Axe.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 78—88.

**1874.**

0. H. SNELLEN u. E LANDOLT. *Die Functionsprüfungen des Auges.* Gräfe Sämisch Handbuch d. ges. Augenheilkde. Bd. III Cap. I. Leipzig.

**1876.**

1. L. MAUTHNER. *Die optischen Fehler des Auges.* Wien. S. 43 u. 564.
2. J. TWEEDY. *On an improved Optometer for estimating the degree of abnormal regular Astigmatism.* Lancet. 28. Octbr.

**1877.**

3. G. HAY. *Ueber die analytischen Bedingungen derjenigen Form des astigmatischen Strahlenbüschels, in welcher die beiden Brennlinien auf einander und jede auf der Axe des Strahlenbüschels senkrecht stehen, und über die Correction eines solchen Strahlenbüschels durch eine planocylindrische Linse.* Arch f. Augen- u. Ohrenheilkde. VI. S. 18.

**1878.**

2524. Brailey. *Ueber Astigmatismus.* Guy's Hosp. Rep. f. 1878.
2525. Maimonide Levi. *Praktischer Nachweis des Astigmatismus und eine leichte Method selbigen zu corrigiren.* Ann. di Ottalm. 2/3. S. 232.
2526. E. Javal. *Lentille de Stokes modifiée.* Ann. d'oculist. T. 80. S. 201.
2527. M. Peschel. *Ueber den Astigmatismus des indirecten Sehens.* Pflügers Arch. Bd. 18. S. 504.

**1879.**

2528. Gradle. *Die Wirkung des Ciliarmuskels bei Astigmatismus.* Americ. Journ. of med. sc. Bd. 153. Jan.
2529. van Haaften. *Het bepalen van Astigmatisme.* Diss. Utrecht. XIX. J. Versl. het Nederl. Gasth. v. Oogl. S. 63—88.
2530. E. Javal. *Sur l'astigmatisme.* Soc. de Biol. 22. Febr.

**1880.**

2531. T. Anderson. *Improved apparatus to the objective estimation of astigmatism.* Rep. Brit. Assoc. S. 463—465.
2532. E. Javal. *Mesure subjective rapide de l'astigmatisme.* Séances de la soc. de Physique S. 138.
2533. C. J. A. Leroy. *Sur l'astigmatisme.* Compt. Rend. XC. No. 22. S. 1277—1279.
2534. A. Placido. *Nouvel instrument pour la recherche rapide des irrégularités de courbure de la cornée: l'astigmatoscope explorateur.* Period. de Oftalm. prat., revista bimens. Lissabon. Sept.-Nov.

**1881.**

2535. E. Javal. *De la mesure subjective et objective de l'astigmatisme.* Ann. d'oculist. T. 8[illegible] S. 64.
2536. A. Leroy. *Théorie de l'astigmatisme.* Arch. d'Ophthalm. I. 3. S. 220—260. I [illegible] S. 335—370.

**1882.**

2537. E. Berger. *Zur Diagnostik der Krümmungsanomalien der Hornhaut mit [illegible] Keratoscop.* Berl. klin. Wochenschr. No. 50.
2538. — *Ein modificirtes Keratoscop.* Wien. med. Presse. No. 46.
2539. Bergmeister. *Demonstration des Keratoscops von Placido.* Anz. d. k. k. Ges. d. Aerzte in Wien. No. 2.
2540. L. da Fonseca. *Astigmatoscope.* Arch. ophthalm. de Lisboa. Jan.—Febr.
2541. Fraenkel. *Keratoscop.* Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 89.
2542. Gavarret. *Astigmatisme et ophthalmométrie.* Rev. Scientif. XXX. S. 74.
2543. Hasner. *Ueber Dr. Placido's Keratoscop.* Prager med. Wochenschr. S. 121.
2544. Hirschberg. *Keratoscop.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 59.
2545. E. Javal. *Contribution à l'ophtalmométrie.* Ann. d'oculist. T. 87. S. 213.
2546. — *Deuxième contribution à l'ophtalmométrie.* Ann. d'oculist. T. 88. S. 33.
2547. Leroy. *Sur la théorie de l'astigmatisme.* Rev. gén. d'ophthalm. I. S. 129.
2548. L. de Wecker u. Masselon. *Astigmomètre.* Centralbl. f. prakt. Aerzte. VI. S. [illegible]
2549. Wolfskehl. *Ueber Astigmatismus in Thieraugen und die Bedeutung der spaltförmigen Pupille.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. S. 7.

**1883.**

2550. A. Angelucci. *Ricerche ottalmometriche per determinare lo astigmatismo irregolare [illegible] cornee coniche.* Ann. di Ottalm. XII. S. 48.
2551. Bono. *Dell' astigmatismo negli operati di cataratta per estrazione.* Giorn. Acc. di med. di Torino. XLVI. No. 3.
2552. Sw. M. Burnett. *Refraction in the principal meridians of a triaxial ellipsoid with remarks on the correction of astigmatism by cylindrical glasses and an historical note on corneal astigmatism. With a communication of the monochromatic aberration of the human eye in Aphakia by W. M. Harkness.* Arch. of Ophthalm. XII. [illegible]
2553. — *Character of the focal lines in astigmatism.* Arch. of Ophthalm. XII. S. 31[illegible]
2554. Dörfel. *Das stabile Keratoscop.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 3[illegible]
2555. W. Harkness. *On the monochromatic aberration of the human eye in Aphakia.* Arch. of Ophthalm. XII. No. 1.
2556. G. Hay. *Some additional remarks on the theory of the astigmatic pencil.* Transact. of the Amer. Ophthalm. Soc. for 1883. S. 549.

57. A. v. Hippel. *Ueber verschiedene Methoden zur Bestimmung der Refraction, speciell des Astigmatismus.* Berl. klin. Wochenschr. No. 25.
58. A. Javal. *Troisième contribution à l'ophthalmométrie.* Ann. d'oculist. T. 89. S 5.
59. A. Imbert. *De l'astigmatisme* Paris. 107 S.
60. Landesberg. *Auftreten von regelmäfsigem Astigmatismus bei gewissen Refractions- und Accommodationsanomalien.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Decbr.
61. L Matthiessen. *Ueber die Form der unendlich dünnen astigmatischen Strahlenbündel und über die Form der Kummer'schen Modelle.* Sitzgs.-Ber. d. Bayer. Akad. u. Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 10.
62. E. Nordenson. *Recherches ophthalmométriques sur l'astigmatisme de la cornée chez des écoliers de 7 à 20 ans.* Ann. d'Ocul. Bd. 89. S. 110.
63. C. A. Oliver. *Description of a revolving, astigmatic disk.* Med. news. 6. Okt.
64. G. Privat. *Considérations sur l'astigmatisme.* Montpellier. 69 S.
65. Wecker u. Masselon. *Modification apportée à l'astigmomètre.* Ann. d'Ocul. Bd 89. S. 138.
66. — *La kératoscopie clinique.* Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 165.
67. W. Zehender. *Zur Astigmometrie.* Ber. d. XV. Vers. d. ophthalm. Ges. S. 29 u. 176.

1884.

68. G. B. Airy. *Continuation of observations on the state of an eye affected with astigmatism.* Proc. Cambridge Philos Soc. V. S. 132.
69. E. Berger. *Der Hornhautspiegel (Keratoskop) und seine praktische Anwendung.* Dtsch. Med.-Ztg. Heft 6.
70. E. Javal. *Sur l'astigmatisme statique du cristallin.* Bull. soc. phil. (7.) VIII. S. 132.
71. A. Leahy. *On keratoscopy as a means of diagnosing errors of refraction.* Indian med. Gaz. XIX. S. 184.

1885.

72. E. H. Bennet. *Note on a ready method of demonstrating the alternation of the sectors of the crystalline lens.* Transact. of the Acad. of med. in Ireland. III. S. 435.
73 A. J. Blanch. *El astigmatismo; juicio critico sobre los procedimientos de su determinación.* Rev. esp. de oftalm. sif etc. Madrid IX. S. 3, 97, 145, 241.
74. S. M. Burnett. *The action of cylindrical glasses in the correction of regular astigmatism.* Americ. Journ. of Ophthalm. II. S. 275.
75. H. Culbertson. *On the application of cylindrical glasses in spasmodic myopic astigmatism.* Americ. journ of Ophthalm. August.
76 W. S. Dennet. *The Stokes' lens for measuring astigmatism.* Transact. of the americ. ophthalm. soc. 21. meeting. S. 106.
77. Gazepy. *Optomètre et astigmomètre binoculaire.* Arch. d'Ophthalm. S. 182. — Rec. d'Ophthalm. S. 138.
78 G. Pfalz. *Ophthalmometrische Untersuchungen über Cornealastigmatismus, mit dem Ophthalmometer von Javal und Schiotz* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXI. (1.) S. 201—228.
79. O. Purtscher. *Ein Vorschlag hinsichtlich der Glasercorrection gewisser Krümmungsfehler der Cornea.* Arch. f. Augenheilkde. XV. S. 68.
80. S. Theobald. *Notes of three cases of progressive astigmatism.* Americ. Journ. of Ophthalm. Juli.
81. Vennemann. *Détermination de l'astigmatisme d'après un procédé nouveau.* Bull. et mém. Soc. franç. d'ophthalm. III. S. 335.
82. W. v. Zehender. *Demonstration der Wirkung schiefstehender sphärischer Linsen.* Ber. üb. d. 17. Vers. d. opthalm. Ges. in Heidelberg. S. 232.

1886.

83. Berlin. *Über die Vermehrung der Perception am Thierauge durch Linsenastigmatismus.* Tagebl. d. 59. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin S. 387.
84 Chauvel. *De la constatation objective de l'astigmatisme par les images cornéennes au conseil de revision.* Arch. de méd. et de pharm. milit. 16. Mai.
85. Culbertson. *On the use of cylindrical glasses in compound astigmatism.* Amer. Journ. of Ophth. S. 14.
86. F. Denti. *Nuovo cheratoscopio registratore semplicissimo.* Gazz. med. Ital. Lomb.
87. A. Kelsch. *The cause of regular astigmatism.* Med. Record. 17. Juli.

2588. LEMAIRE. *Nouvel optomètre astigmomètre.* Rec. d'Ophth. S. 611.
2589. NOYES. *Measurement of astigmatism by the ophthalmometer of Javal and Sch*
2590. O. PURTSCHER. *A suggestion concerning the correction by glasses of certain malies of the curvatura of the cornea.* Arch. of Ophth. S. 264.
2591. H. R. SWANZY. *On uniformity in the designation of the meridian in astigm* Ophth. Rev. S. 208.
2592. J. TWEEDY. *On a improved optometer for estimating the degree of astigmatism other errors of refraction.* Lancet. I. S. 777.

1887.

2593. R. BERLIN. *Ueber ablenkenden Linsenastigmatismus und seinen Einfluſs auf Empfinden von Bewegung.* Wiesbaden, Bergmann. 20 S. — Zeitschr. f. Augenheilkde. Bd. V.
2594. BETTREMIEUX. *Notes cliniques sur l'astigmatisme.* Arch. d'Ophth. VII. S. 54
2595. S. M. BURNETT. *On some of the optical properties of spherical and cylin lenses placed obliquely to the incident pencils of light.* Americ. Journ. of Ophtl IV. S. 15—20.
2596. — *A theoretical and practical treatise on astigmatism.* St. Louis.
2597. BOEHM. *Die Diagnose des Astigmatismus durch die quantitative Farbensinnpr* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 429.
2598. E. JAVAL. *De l'astigmatisme.* Ann. d'Ocul. Bd. 97. S. 223.
2599. — *Sur les variétés de l'astigmatisme régulier.* Soc. franç. d'ophthalm. S. 3.
2600. E. JAVAL et MARTIN. *Sur l'astigmatisme.* Rev. gén. d'Ophth. VI.
2601. PARENT. *Notation de l'astigmatisme.* Soc. franç. d'ophthalm. S. 228.
2602. REYMOND u. P. BAJARDI. *Sulla visione nell' astigmatismo.* Ann. di Ottalm. S.

1888.

2603. H. CULBERTSON. *Binocular astigmatism.* Journ. of the Amer. med. Assoc. XI. 18. S
2604. D. DESJARDINS. *De la kératoscopie comme moyen de diagnostic dans l'astigma* Gaz. med. de Montréal. II. S. 214.
2605. G. FRAENKEL. *Die Wirkung der Cylinderlinsen veranschaulicht durch stereoskop Darstellung des Strahlenganges.* Wiesbaden. Bergmann.
2606. JACKSON. *Meridional astigmatism.* Amer. Journ. of Ophth. S. 310.
2607. C. J. A. LEROY. *Méthode pour déterminer par l'ophthalmomètre l'astigma cornéen.* Rev. gén. d'Ophth. S 150.
2608. G. MARTIN. *Étude sur les contractions astigmatismes du muscle ciliaire.*
2609. SUAREZ DE MENDOZA. *Sur la notation de l'astigmatisme.* Rec. d'Ophth. S. 53
2610. NOYES. *On astigmatisme.* Amer. Journ. of Ophth. S. 200.
2611. RICHEY. *Binocular astigmatism.* Chicago med. Journ. and Examiner. Juli.

1889.

2612. P. BAJARDI. *Della visione negli astigmatici.* Ann. d'Ottalm. XVIII. S. 138.
2613. BULL. *Variations de l'astigmatisme avec l'âge.* Compt. Rend. de la VII. réu la Soc. franç. d'Ophth. Rev. gén. S. 352.
2614. S. M. BURNETT. *Lenticular regular astigmatism.* Philad. Med. News. LV S. 279.
2615. E. GRIMAL. *Étude sur les différents procédés employés dans la détermination l'astigmatisme.* Montpellier. S. 82.
2616. A. GULLSTRAND. *Eine praktische Methode zur Bestimmung des Astigmatismus Hornhaut mittelst der sog. Denivellirung der ophthalmometrischen Bilder.* Sv läkanslälsk. förh. S. 128. — Nord. ophth. Tidsskr. II. S. 93.
2617. C. HINTZI. *Proposition d'un nouveau procédé d'astigmométrie.* Arch. de me pharm. mil. S. 201.
2618. C. J. A. LEROY. *Influence des muscles de l'œil sur la forme normale de la c humaine.* Arch. de Phys. norm. et path. XXI. No. 1.
2619. LOISEAU. *Contribution à l'astigmométrie et notation l'astigmatisme.* Ann Bd. 101. S. 99—102.
2620. v. D. SPILL. *Die Bestimmung des Astigmatismus mittelst des Ophthalmometer Javal-Schiötz (mit Prisma von Kagenaar).* Nederl. Tijdschr. voor Genee S. 385.

1890.

2621. C. DU BOIS-REYMOND. *Keratoskop zur Messung des Hornhaut-Astigmatis* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XIV. S. 257—259.

22. Bull. *Remarques sur l'examen ophthalmométrique et optométrique d'un certain nombre d'yeux astigmates.* Rev. gén. S. 301
23. Chibret. *Astigmatisme selon et contre la règle. Résultats comparés de l'examen objectif (kératométrie, skiascopie) et de l'examen subjectif.* Arch. d'Ophth. X. S. 357–362, 404.
24. H. Draper-Speakman. *On the degree and demonstration of astigmatism as determined by Javals Ophthalmometer.* Med. Rec. 5. April.
25. Galezowski. *Du diagnostic de l'astigmatisme irrégulier et de sa correction à l'aide des verres cylindro-coniques.* Progr. méd. No 49. S. 460.
26. — *Des verres coniqus ou cylindro-coniques et de leur emploi dans la correction de la vision dans un astigmatisme irrégulier.* Rec. d'Ophth. No. 8. S. 449.
27. P. Géza. *Ein neues Instrument zur Bestimmung des Astigmatismus.* Szemészet. S. 37.
28. A. Gullstrand. *Bidrag til Astigmatismens Teori.* Nord. med. Ark. XXI. S. 1–64. XXII. S. 288.
29 — *Contribution à la théorie de l'astigmatisme.* Stockholm.
30. — *Beitrag zur Theorie des Astigmatismus.* Skand. Arch. f. Physiol. II. S. 269 bis 359.
31. — *Om Brännlinien vid Astigmatism.* Nord. ophth. Tidsskr. III. No. 1.
32 G. Heinrich. *Untersuchung über die Wirkung schräggestellter sphärischer Brillengläser an emmetropischen und ametropischen Augen und Vergleichung dieser Wirkung mit der Wirkung cylindrischer Gläser.* Diss. Rostock. Adler's Erben.
33. F. C. Hotz *A simple and quick method of detecting astigmatism.* Americ. Journ. of Ophth. S. 270–278.
34. — *A simple and reliable astigmometer.* Journ. americ. med. assoc. XIV. S. 420.
35. C. Jackson. *Progressive hyperopic astigmatism.* Transact. of the Americ. Ophth. Soc. XXVI. S. 676.
36. C. Koller. *On the determination of astigmatismus with the ophthalmometer.* Journ. americ. med. assoc. S. 380.
37. — *Elimination of the cornea and its effect upon the refraction of the eye.* Americ. Journ. of Ophth. Juli.
38. Kugel. *Ueber die pathologische Wirkung der Contouren beim monocularen Sehen der Astigmatiker und über Blendung als Ursache des Nystagmus.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (2.) S. 129–162.
39. L. Leplat. *Un instrument pour contrôler l'orientation des verres cylindriques.* Arch. d'Ophth. X. S. 26–36.
40. J. Roth. *Ueber Astigmatismus und Ophthalmometrie.* Diss. Zürich. Wiesbaden, Bergmann. 67 S.
41. Speakman. *On the degree and demonstration of astigmatism as determined without the use of mydriatics by Javal's ophthalmometer, model of 1889.* Med. Rec. New-York. XXXVII. S. 378.

1891.

42. S. M. Burnett. *Contributions to keratometry.* Ophthalm. Review. — Americ. med. Assoc. Section of Ophthalm. Jahreskongrefs zu Washington. Mai.
43. Chibret. *Contribution à l'étude des astigmatismes cornéens et totals.* Rev. gén d'Ophth. X. 7. S. 289–292.
44. Galezowski. *Du diagnostic de l'astigmatisme irrégulier et de sa correction à l'aide des verres coniques.* Soc. d'ophth. de Paris III. S 200.
45. E. Javal. *L'Ophthalmométrie clinique* In Beiträge zur Psychologie u. Physiologie der Sinnesorgane. Hamburg. L Voss. Helmholtz-Festschrift. S. 37–48. Auch separat erschienen.
46. — *Mémoires d'ophtalmométrie.* Paris G. Masson. 626 S. et 135 fig
47. G. Martin. *Instabilité et étiologie de l'astigmatisme cornéen* Progr. med. No. 19–20. Rec. d'Opht. No. 5. S. 282.
48. — *De la correction astigmatique.* Ann. d'Oculist. S. 139.
49. Ostwalt. *De la force réfringente de la cornée, de l'ophthalmométrie et du cylindre correcteur de l'astigmatisme cornéen.* Rev. gén. d'Ophth. No. 5–6
50. C. Reymond. *Annotation sur la vision astigmatique et sur la correction dynamique.* Arch. Ital. de Biolog Bd 16. S. 113–125. — Heidelberger Helmholtz Festschrift. S. 81–85

2651. R. SIMON. *Beiträge zur Lehre vom Astigmatismus, besonders in Hinsicht auf die Sehschärfe.* Diss. Strafsburg. S. 37. (Magdeburg. R. Walper.)

**1892.**

2652. BULL. *L'asthénopie des astigmates.* Progr. méd. No. 23—25.
2653. PFLÜGER. *Einige Resultate klinischer Ophthalmometrie.* Verh. d. X. intern. Congr. Bd. IV. S. 140.
2654. D. R. ROOSA. *The prevalence of corneal astigmatisme in eyes with normal acuity of vision and without asthenopia.* Med. Rec. 26. Novbr.
2655. G. E. SCHWEINITZ. *Some notes on the corneal astigmatism in 200 eyes measured with the ophthalmometre of Javal in comparison with the total subjective astigmatism after complete mydriasis.* The Times and Register. 19. Novbr. 1892.
2656. H. V. WÜRDEMANN. *What may be considered normal corneal astigmatism? From keratometric measurements of 300 eyes.* Journ. of the Americ. med. Assoc. Aug.

**1893.**

2657. TH. GUILLOZ. *Sur l'existence d'un astigmatisme cristallinien accommodatif.* Arch. d'Ophthalm. T. XIII. S. 676.
2658. E. JACKSON. *The crossed cylinder.* Ophthalm. Rec. Vol. 2. No. 6 u. 12.
2659. — *The best form of cylinder test and variable prism with a new phorometer.* Ophthalm. Rec. Vol. III. No. 2 u. 3.
2660. F. OSTWALT. *Recherches expérimentales sur l'influence que l'éloignement de l'œil exerce sur la force réfringente du cylindre correcteur dans les différentes formes de l'astigmatisme.* Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 543—555.
2661. C. REYMOND. *Annotazione sulla visione astigmatica e la sua correzione dinamica.* Ann. d'Ottalm. XXII. S. 521.
2662. RISLEY. *The relative importance of astigmatism in the production of asthenopia.* Ann. of Ophthalm. and Otol. Jan.
2663. A. ROTH. *Ueber eine neue stenopäische Brille (Siebbrille). Vorläuf. Mitth.* Arch. f. Augenheilkde. XXVII. S. 110—112.
2664. C. WEILAND. *History and principles of keratometry; its value and limitation in the correction of astigmatism.* Arch. of. Ophthalm. Bd. XXII. S. 37—64.

**1894.**

2665. N. ANDOGSKY u. W. DOLGANOW. *Sur l'astigmatisme et sa correction, dans les rapports avec l'usage de l'ophthalmomètre de Javal et Schiötz.* Ann. d'Ocul. Bd. 112. S. 296.
2666. F. VAN FLEET. *Astigmatismus und das Ophthalmometer.* Arch. of Ophthalm. XXIII. S. 50—60. Dtsch. Auszug von R. Greeff im Arch. f. Augenheilkde. XXX. S. 63.
2667. F. C. HOTZ. *On some modifications of my Astigmometer, and on its efficiency in the examination for Astigmatism.* Ann. of Ophthalm. III. 1.
2668. L. HOWE. *Note on lid pressure as a cause of astigmatism.* Americ. Journ. Ophthalm. Juli 1894.
2669. E. JACKSON. *Value of the ophthalmometer in practical refraction work.* Ann. Ophthalm. and Otol. S. 368.
2670. S. MITCHELL. *A case of astigmatism where the contour of the corneae indicated the axes.* Ann. of Ophthalm. and Otol. Vol. III. S. 146.
2671. C. WEILAND. *Description of a new optometer for the correction of astigmatism at distant tests.* Ann. of Ophthalm. and Otol. III. S. 29.
2672. H. WILSON. *Bemerkungen über die Wirkung der schiefen Augenmuskeln bei Astigmatismus.* Arch. of Ophthalm. XXIII. S. 276—282.
2673. A. STEIGER. *Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Hornhautrefraction.* Arch. f. Augenheilkde. XIX. S. 98—111.
2674. — *Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Hornhautrefraction.* 1. Theil. Wiesbaden, J. F. Bergmann, 135 S.

## 3. Sphärische Aberration und mangelnde Centrirung des Auges.

**1869.**

2675. A. HOLOWINSKI. *Études expérimentales sur les aberrations de l'œil.* Thèse. Dorpat.

**1876.**

2676. L. MATTHIESSEN. *Ueber den Aplanatismus der Hornhaut.* Gräfe's Arch. Bd. 22.

**1881.**

'7. L. MATTHIESSEN. *Untersuchungen über den Aplanatismus und die Periscopie der Krystalllinsen in den Augen der Fische.* Pflüg. Arch. Bd. 21. S. 287 u. Bd. 25. S. 193.

'8. W. SCHÖN. *Der Aplanatismus der Hornhaut.* Horner-Festschrift Wiesbaden. S. 125—131.

**1883.**

'9. E. JAVAL. *Les yeux décentrés.* Gaz. des Hôp. S. 486.

**1884.**

10. M. EHRNROOTH. *Zur Frage über die Lage der Gesichtslinie und die Centrirung der brechenden Flächen im Auge.* Pflüger's Arch. XXXV. S. 390.

**1885.**

11. ZEHENDER. *Ueber den Gang der Lichtstrahlen bei schräger Incidenz. Ueber aplanatische Brillengläser.* Ber. üb. d. 17. Vers. d. ophth. Ges. in Heidelberg. S. 29 u. 36.

**1886.**

12. A. SEELIGER. *Ueber den Einfluſs dioptrischer Fehler des Auges auf das Resultat astronomischer Messungen.* Abh. d. math.-phys. Klass. d. Acad. d. Wiss. zu München. S. 665.

**1888.**

13. JACKSON. *Symmetrical aberration of the eye.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 141.

14. TSCHERNING. *Le centrage de l'œil humain.* Compt. Rend. Bd. 106. S. 1689.

15. — *Étude sur la position du cristallin de l'oeil humain.* C. R. de l'acad. des sc. 16 avril 1888.

**1890.**

16. TSCHERNING. *De l'influence de l'aberration de sphéricité sur la réfraction de l'œil.* Réponse à l'article du Dr. Chibret: *Astigmatisme selon et contre la règle.* Arch. d'Ophthalm. X. 5. S. 445.

**1891.**

17. S. FINSTERWALDER. *Die von optischen Systemen gröſserer Oeffnung und gröſseren Gesichtsfeldes erzeugten Bilder. Auf Grund der Seidel'schen Formeln untersucht.* Abhandlg. d. k. bayr. Akad. d. Wiss. München, 1891. 71 S.

18. SULZER. *La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision.* Arch. d'ophthalm. XI. S. 419—435. — Progr. méd. No. 19—20. — Recueil d'ophthalm. No. 5. S. 282.

**1892.**

19. SULZER. *La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision.* 2e Partie: *Influence de la cornée sur la vision.* Arch. d'Ophthalm. XII. S. 32—50.

10. — *La forme de la cornée et son influence sur la vision.* Paris. Steinheil.

**1893.**

11. LEROY. *Méthode pour mesurer objectivement l'aberration sphérique de l'œil vivant.* Rev. gén. d'Ophthalm. XII. S. 112—115.

12. — *Sur l'aberration sphérique de l'œil humain; mesure du sénilisme cristallinien.* Compt. Rend. Bd. 116. S. 636—639.

13. M. TSCHERNING. *L'aberroscope.* Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 615—623.

**1894.**

14. M. TSCHERNING. *Die monochromatischen Aberrationen des menschlichen Auges.* Zeitschr. f. Psychol. VI. S. 456—471.


## 4. Irregulärer Astigmatismus.


**1867.**

15. E. SANG. *On some phenomena of indistinct vision.* Proc. Edinb. Soc. VI. S. 58—59.

**1868.**

16. W. v. BEZOLD. *Über Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut.* Arch. f. Ophthalm. XIV. (2.) S. 1.

**1869.**

17. W. v. BEZOLD. *Über objektive Darstellung von Zerstreuungsbildern.* Arch. f. Ophthalm. XV. 3. S. 281—283.

18. — *Versuche über Zerstreuungsbilder.* Pogg. Ann. Bd. 138. S. 554—560.

1872.

2699. G. B. Airy. *Further Observations on the state of an eye affected with a peculia formation.* Nature. V. S. 416. — Cambrid. Philos. Soc. 12. Febr.

1875.

2700. L. Weiss. *Polyopia monocularis an einem Auge, dessen Hornhaut abnorm ge ist.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXI. (2.) S. 187—204.

1876.

2701. T. W. Backhouse. *Visual phenomena.* Nature XIV. S. 474.
2702. Ward. *Visual phenomena.* Nature. XIV. 423.

1877.

2703. Cadiat. *Polyopie monoculaire.* Gaz. des hôp. No. 6. S. 45.

1881.

2704. Abercrombi, Adams, Ord, Nettleship. *Uniocular diplopia.* Transact. Ophthalm. Soc. of the Unit. Kingdom. I. 13. Oct. — Lancet. II. N. Ophthalm. Rev. Novbr.

1882.

2705. Charpentier, A. *Sur quelques usages du trou sténopéique.* Ann d'ophthalm.
2706. V. Schulek. *Die optischen Verhältnisse bei Doppelpupillen.* Graefe's A Ophthalm. XXVIII. (3.) S. 128.

1883.

2707. A. Angelucci. *Ricerche ophthalmometriche per determinare lo astigmatismo irr delle cornee coniche.* Ann. di Ottalm. XII. S. 48.

1884.

2708. A. Angelucci. *Sulla refrazione e correzione delle cornee coniche sed ectatiche* di Ottalm. XIII.

1887.

2709. A. Wilhelmi. *Ein Fall von monoculärer Triplopie.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenh S. 277.

1888.

2710. D. Axenfeld, *Il diaframma perforata nell'ottica fisiologica.* Bull. d. r. Acad di Roma. 1888/89. S. 200.
2711. H. P. Barrat. *De la polyopie monoculaire.* Rochefort sur-Mer. 1888. 68 S.
2712. S. Exner. *Ueber den normalen irregulären Astigmatismus.* Graefe's Arch. X (1.) S. 1.

1889.

2713. Brunschwig. *Diplopie monoculaire.* Rec. d'Ophthalm. S. 468—474.
2714. J. C. Mc. Comell. *Coronae round a light produced by a peculiar structure eye.* Nature. XL. S. 342.
2715. C. J. A. Leroy. *Polyopie monoculaire.* Compt. Rend. de la VII. réun. de franç. d'Ophthalm. Rév. génér. S. 350.
2716. — *Diplopie monoculaire.* Compt. Rend. de l'acad. des sciences. CVIII. S.
2717. G. Santeson. *Fälle von monoculärer Polyopie.* Svenska läkars. förh.
2718. — *Monoculare Polyopie.* Hygiea. S. 168.
2719. W. Schon. *Eine Verzerrungserscheinung am kurzsichtigen Auge.* Arch. f. heilkde. XXI. S. 103.

1890.

2720. C. Lucanus. *Ein Fall von monocularem Doppelsehen.* Klin. Mon.-Bl. f. heilkde. XXVIII. S. 282—287.

1891.

2721. Bull. *De la polyopie monoculaire.* Progr. méd. No. 19—20. — Rec. d'op No. 5. S. 282.
2722. J. H. Thompson. *Double monocular diplopia.* Ophthalm. Rev. Aug. u. (Americ. Med Assoc. Sect. of Ophthalm. Jahrescongreſs zu Washington Ma

1893.

2723. Th. Axenfeld, *Über eine eigenthümliche Form von unregelmäſsigem Hor astigmatismus (corrigirbare partielle Hyperopie), complicirt mit hochgradiger S der relativen Accommodation auf dem befallenen Auge.* Klin. Mon.-Bl. f. A heilkde. XXXI. S. 33.

---

# § 15.

## Die entoptischen Erscheinungen.

**Außer den hier aufgeführten Abhandlungen ist auch ein Theil der in § 25 angegebenen Litteratur zu berücksichtigen.**


**1690.**

24. M. Dechales. *Cursus seu mundus mathematicus.* Lugduni. III. S. 402.

**1694.**

25. de la Hire. *Accidens de la vue.* Mém. de l'Acad. d sc. S. 358.
26. Pitcairn. *Opera.* Lugd. Bat. S. 203 u. 206.

**1722.**

27. Morgagni. *Adversaria anatomica.* VI. Anim. LXXV. S. 94. Lugd. Bat.

**1740.**

28 Le Cat. *Traité des sens.* Rouen. S. 289.
29. Aepinus. *Novi Comment.* Petrop. VII. S. 303.

**1760.**

30. *Histoire de l'Acad. d. sc. pour l'an 1760.* S. 57.

**1795.**

31. G. C. Beireis et J. H. Ch. Voogler. *De maculis ante oculos volitantibus.* Helmstadt.

**1819.**

32. Purkinje. *Beiträge zur Kenntnis des Sehens.* S. 89.*

**1825.**

33. Purkinje. *Neue Beiträge.* S. 115 u. 117.*

**1834.**

34. D. Brewster. *Observations on the supposed vision of the blood-vessels of the eye.* The London and Edinburgh Philos. Mag. IV. S. 115—120.
35. M. Griffith *Observations on the vision of the retina.* Philos. Magaz. IV. S. 43 bis 46.
36. T. W. W. *Observations on the visibility of the retina; with remarks upon its probable cause.* Philos. Mag. IV S. 354—360.

**1842.**

37. Steifensand. Pogg. Ann. LV. S. 134.* v. Ammon's Monatsschr. f. Med. I. S. 103.
38. Sotteau. *Recherches sur les apparences visuelles sans object extérieur, connues sous le nom vulgaire de mouches volantes.* Ann. et Bull. de la Soc. de méd. de Gand. XI. Septbr.

**1845.**

39. *Listing. *Beitrag zur physiologischen Optik.* Göttingen.*
40. D. Brewster. Transact. of the Roy. Soc. of Edinb. XV. S. 377.
41. Mackenzie. Edinb. Med. and Surg. Journ. July.

**1846.**

42. F. C. Donders. *Over entoptische gezichtsverschijnselen en derzelver toepassing voor de herkenning van ooggebreken.* Nederl. Lancet. 1846—47. 2e Ser. D. II. bl. 345, 432 u. 537

**1848.**

43. D. Brewster. *Observations on the supposed vision of the blood-vessels of the eye.* Phil. Mag. XXXII. 1. — Arch. d. sc. phys. et natur. de Genève. VIII. S. 299.

**1849.**

44. Gudden. J. Müller's Arch. S. 522.*

**1850.**

45. F. C. Donders. *Het entoptisch onderzoek tot herkenning van oogziekten.* Nederl. Lancet. 1850—51 S. 521.

**1853.**

46. Appia. *De l'oeil vu par lui même.* Genève.
47. Troussart. *Suite des recherches concernant la vision.* Compt. Rend. XXXVI. S. 144—146.

**1854.**

2748. *A. DONCAN. *De corporis vitrei structura.* Diss. Trajecti ad Rhenum; — Onde in het Physiol. Laborat. d. Utrechtsche Hoogeschool. Jaar. VI. S. 171.
2749. BUROW. J. Müller's Arch. S. 166.
2750. MEISSNER. *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans.* Leipzig. S. 78.
2751. RUETE. *Physikalische Untersuchung des Auges.* Leipzig. S. 24.

**1855.**

2752. J. JAGO. Proc. Roy. Soc. 18. Jan.
2753. H. MÜLLER. *Ueber die entoptische Wahrnehmung der Netzhautgefäfse insbe als Beweismittel für die Lichtperception durch die nach hinten gelegenen N elemente.* Verh. d. physik.-med. Ges. in Würzburg. Auch sep. Würzburg.

**1856.**

2754. VIERORDT. *Wahrnehmung des Blutlaufs in den Netzhautgefäfsen.* Arch. f. ] Heilkde. Heft II.
2755. MEISSNER. Henle u. Pfeuffer, Zeitschr. (3.) I. S. 565—566.
2756. A. E. LAIBLIN. *Die Wahrnehmung der Choroidealgefäfse des eigenen Auge* Tübingen.

**1857.**

2757. J. JAGO. *Ocular spectres, structures and functions as mutual exponents.* Pro Soc. VIII. S. 603—610. — Phil. Mag. (4.) XV. S. 545—550.
2758. E. C. A. WELLER. *Nonnulla de muscis volitantibus.*

**1860.**

2759. O. N. ROOD. *On a probable means of rendering visible the circulation in* Silliman J. (2.) XXX. S. 264—265 u. 385—386.

**1861.**

2760. L. REUBEN. *On normal quasi-vision of the moving blood-corpuscles within the of the human eye.* Silliman J. (2.) XXXI. S. 325—388 u. 417.

**1862.**

2761. TJEPCO LYCKLAMA À NYCHOLT. *Over sommige entoptische gezichtsversch* Leiden.

**1863.**

2762. L. MAUTHNER. *Zur Lehre vom entommatischen Sehen.* Wien. Ber. Bd. 47.
2763. GIRAUD-TEULON. *Physiologie de la vision.* Ann. d'ocul. T. 49. S. 9.

**1864.**

2764. CZERMAK. *Entoptische Phänomene.* Wien. Sitzgs.-Ber. Bd. 43.
2765. A. FICK. *Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Sinnesorgane.* S. 251

**1868.**

2766. R. HOUDIN. *Nouveau moyen d'exploration de la rétine par les phosph Images subjectives de la macula lutea et de la fovea centralis.* Mondes. ( S. 764—767. — Compt. Rend. LXVI. S. 630—633.
2767. C. NÄGELI. *Ueber selbstbeobachtete Gesichtserscheinungen.* Münch. Ber. I bis 532.

**1869.**

2768. B. A. POPE. *Entoptische Erscheinungen im Zusammenhang mit dem Blutlau* f. Augen- u. Ohrenheilkde. Bd. I. S. 72—78 u. 459.

**1870.**

2769. B. A. POPE. *Beiträge zur physiologischen Optik (entoptische Erscheinungen* f. Augen- u. Ohrenheilkde. I. (2.) S. 197—199.
2770. J. L. TUPPER. *On an optical illusion.* Philos. Mag. (4.) Vol. 39. S. 423—

**1871.**

2771. DUBRUNFAUT. *Sur quelques particularités des perceptions visuelles objectives jectives.* Mondes. XXVI. S. 77. Compt. Rend. Bd. 73. S. 752.
2772. — *Vision.* Institut. S. 102.
2773. J. LE CONTE. *On an optical illusion.* Philos. Mag. (4.) XLI. S. 266—269.

**1872.**

2774. O. BECKER. *Ueber die sichtbaren Erscheinungen der Blutbewegungen in der lichen Netzhaut.* Berlin.
2775. HEUSE. *Ueber die Beobachtung einer neuen entoptischen Erscheinung.* Ophthalm. XVIII. 2. S. 236.

**1876.**

6. T. W. Backhouse. *Visual phenomena.* Nature. XIV. S. 423.

**1878.**

7. Badal. *Nouveau procédé pour déterminer la situation des objets qui flottent dans le corps vitré.* Gaz. d. Hôpit. S. 237.

**1880.**

8. D. P. Johannides. *Die gefäſslose Stelle der menschlichen Retina und deren Verwertung zur Bestimmung der Ausdehnung der Macula lutea.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (2.) S. 111.

9. Th. Leber. *Nachträgliche Notiz über die Gefäſse der Macula lutea.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (2.) S. 271.

0. — *Bemerkungen über das Gefäſssystem der Netzhaut in der Gegend der Macula lutea.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (2.) S. 127.

1. M. Peschel. *Ueber ein neues entoptisches Phänomen an der Macula lutea.* Pflüger's Arch. XXI. S. 399.

**1881.**

2. E. v. Fleischl. *Physiologisch-optische Notizen.* II. u. III. Mittheilung. Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad. LXXXIII. 3. Abth.

3. E. Fuchs. *Ueber eine entoptische Erscheinung bei Bewegung des Augapfels.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (3.) S. 43—46.

4. L. Gerlach. *Über die Gefäſse der Macula lutea.* Sitzgs.-Ber. d. phys.-med. Soc. zu Erlangen. 1. Aug. 1881. 1 S.

5. A. v. Reuss. *Notiz über die Netzhautgefäſse im Bereiche der Macula lutea.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (1.) S. 21—26.

**1882.**

6. Meugin. *Note sur un phénomène subjectif produit par un astigmatisme myopique composé.* Rec. d'Ophthalm. S. 7.

**1883.**

7. G. Mayerhausen. *Noch einmal der gefäſslose Bezirk der menschlichen Retina.* Arch. f. Ophthalm. XXIX. (1.) S. 150.

**1884.**

8. E. v. Fleischl. *Zur Physiologie der Retina.* Wien. med. Wochenschr. N. 10, 11. S. 273, 308.

9. O. W. Maher. *Spectrum of retinal vessels and yellow spot.* Austral. med. Gaz. November.

0. J. P. Nuël. *De la vision entoptique de la fovea centralis et de l'unité physiologique de la rétine.* Ann. d'Ocul. Bd. 91. S. 95. Arch. de Biol. IV.

**1885.**

1. Deeren. *Contribution à l'étude des images entoptiques.* Rec. d'Ophthalm. S. 282, 539 u. 678.

2. O W. Maher. *A method, by which one can see the shadows of ones own retinal vessels and yellow spot.* Austral. med. Gaz. IV. S. 38.

3. D. C. L. Owen. *The clinical import of entoptic phenomena.* Birmingham med Rev. XVII. S. 107.

4. L. Wolffberg. *Die entoptische Wahrnehmung der Fovea centralis und ihrer Zapfenmosaik.* Arch. f. Augenhlkde. XVI. S. 1.

**1886.**

5. D. Kokemüller. *Ueber eine interessante optische Erscheinung.* C. Z. f. Opt. u. Mech. VII, 2—5.

**1887.**

6. G. Meslin. *Sur une expérience relative à la vision.* Journ. de physique. (2 sér.) T. VI.

**1888.**

7. J. Colasanti und G. Mengarini. *Das physiologische Spektralphänomen.* Moleschott's Unters. z. Naturl. XIII. S. 451.

8. Grossmann. *Entoptic Perception of retinal vessels.* Ophthalm. Rev. S. 335.

9. B. Lindsay. *Optical illusions of motion conflicting theories referred to the test of certain hitherto undescribed entoptical phenomena.* Rep. of the 57. meeting of the Brit. assoc. for the avancem. of sc. held at Manchester 1887. London. S. 781.

2800. B. Lindsay. *The normal phenomena of entoptic vision distinguished from those produced by mechanical causes.* Rep. of the 57. meeting of the Brit. assoc. for the advancem. of sc. held at Manchester 1887. London. S. 779.

1891.

2801. P. H. Fridenberg. *Ueber die Sternfigur der Krystalllinse.* Dissert. Strassburg. 21
2802. M. Tscherning. *Un nouveau phénomène entoptique.* Ann. de la Policl. de Paris Décembre.

1892.

2803. G. L. Johnson. *Bemerkungen über die Macula lutea.* Arch. f. Augenhlkde. XIV. S. 157—175.

1894.

2804. F. Dimmer. *Ueber entoptische Versuche.* Vortrag, gehalten in der Sitzung des physiologischen Klubs in Wien am 24. April 1864. Wien. klin. Wochenschr. No. 22.

---

# § 16.

# Das Augenleuchten und der Augenspiegel.

## 1. Das Augenleuchten und der Augenspiegel.

**Wegen der Litteratur über binoculare Ophthalmoskopie siehe § 30 a.**

1704.

2805. Méry. Annales de l'Académie des sciences.

1709.

2806. De la Hire. Annales de l'Académie des sciences.

1810.

2807. Prevost. Bibliothèque britannique. XLV.
2808. Gruithuisen. *Beiträge zur Physiognosie und Eautognosie.* S. 199.
2809. Rudolphi. *Physiologie.* I. S. 197.

1826.

2810. J. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinnes.* Leipzig. S. 49.
2811. Esser. Kastner's Archiv für die gesammte Naturlehre. VIII. S. 399.

1836.

2812. Hassenstein. *De luce ex quorundam animalium oculis prodeunte atque de tapeto lucido.* Jenae.

1839.

2813. Behr. Hecker's Annalen. Bd. I. S. 373.

1844.

2814. E. Brücke. *Ueber die physiologische Bedeutung der stabförmigen Körperchen.* J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 444*.

1845.

2815. E. Brücke. *Anatomische Untersuchungen über die sogenannten leuchtenden Augen bei den Wirbelthieren.* J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 387*.
2816. A. Kussmaul. *Die Farbenerscheinungen im Grunde des menschlichen Auges.* Heidelberg.

1846.

2817. W. Cumming. *On a luminous appearance of the human eye, and its application to the detection of disease of the retina and posterior part of the eye.* Medico-chirurgical Transactions. XXIX. S. 284—296.

1847.

2818. E. Brücke. *Ueber das Leuchten der menschlichen Augen.* J. Müller's Arch. S. 225* u. 479*.

**1851.**

19. H. Helmholtz. *Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge.* Berlin.

**1852.**

20. Th. Ruete. *Der Augenspiegel und das Optometer.* Göttingen.
21. H. Helmholtz. *Ueber eine neue einfachste Form des Augenspiegels.* Vierordt's Arch. f. physiol. Heilkde. XI. S. 827.
22. F. C. Donders. *De oogspiegel van Helmholtz.* Nederl. Lancet, (ser. 3). Jahrg. I. S. 248.
23. E Follin. Archives générales de Médecine. Juli.
24. A. Coccius. *Ueber die Ernährungsweise der Hornhaut.* Leipzig.
25. Froebelius. Medic. Zeitung Rufslands. No. 46.

**1853.**

26. A. Coccius. *Ueber die Anwendung des Augenspiegels nebst Angabe eines neuen Instruments.* Leipzig*.
27. A. C. van Trigt. *Dissertatio de Speculo oculi.* Utrecht; Nederl. Lancet. Ser. 3. Dl. II. S. 430. Deutsch mit Zusätzen von Schauenburg. Lahr 1854.
28. H. A. O. Saemann. *De speculo oculi.* Regiomonti.
29. R. Ulrich. *Beschreibung eines neuen Augenspiegels.* Henle u. Pfeuffer Zeitschr. f. ration. Med. Neue Folge. IV. S 175*.
30. Meyerstein. *Beschreibung eines neuen Augenspiegels.* Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rational. Medicin. Neue Folge. IV. S 310.
31. E. Follin et Nachet. Mém. de la Société de Chirurgie. III.
32. Maressal de Marsilly. *Notice sur l'ophthalmoscope de Follin et Nachet.* Ann. d'ocul. XXVII. S. 55.
33. F. C. Donders. *Nadere waarnemingen met den oogspiegel.* Nederl. Lancet, (ser. 3). Jahrg. III. S. 486 u. 520
34. Spencer Wells. Medical Times. Septbr.

**1854.**

35. F. C. Donders. *Verbeteringen van den oogspiegel.* Onderzoekingen gedan in het Physiologisch Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool. Jaar VI. bl. 131* u. 153*.
36. — *Ueber die sichtbaren Erscheinungen der Blutbewegung im Auge.* Arch. f. Ophthalm. I. (2. S. 75. — Nederl Lancet. (ser. 3 Jahrg. IV. S. 253.
37. Anagnostakis. *Essai sur l'exploration de la rétine et des milieux de l'oeil sur le vivant au moyen d'un nouvel ophthalmoscope.* Paris. Ein durchbohrter Hohlspiegel.) — Ann. d'ocul. Février et Mars.
38. Stellwag von Carion. *Optische Theorie der Augenspiegel.* Wien.*
39. G. A. Leonhard. *De variis oculorum speculis illorumque usu.* Leipzig.
40. Th. Ruete. *Bildliche Darstellung der Krankheiten des menschlichen Auges.* Leipzig. Lieferung 1 u. 2 auch unter dem Titel: *Physikalische Untersuchung des Auges.* S. 23—37*.
41 C. H. Schauenburg. *Der Augenspiegel, seine Anwendung und Modificationen, nebst Beiträgen zur Diagnostik innerer Krankheiten. Nach dem Holländischen des Dr. van Trigt mit Zusätzen.* Lahr.
42. W. Zehender. *Ueber die Beleuchtung des inneren Auges mit specieller Berücksichtigung eines nach eigener Angabe construirten Augenspiegels.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. I. 1. S. 121*.
43. R. Liebreich. *Ophthalmoskopische Notizen.* Arch. f. Ophthalm. I 2. S. 333.

**1855.**

44. Stellwag von Carion. Zeitschr. d. Aerzte z. Wien. XI. S. 65*.
45. v. Hasner. *Ueber den Augenspiegel.* Prag. Vierteljahrsschr. XII. S. 133.
46. — *Ueber die Benutzung polirter Glaslinsen.* Prag.
47. E. Jaeger. *Beiträge zur Pathologie des Auges mit Abbildungen in Farbendruck.* Wien.
48. — *Ergebnisse der Untersuchung des menschlichen Auges mit dem Augenspiegel.* Wien. Ber. XV. S. 319—344.

**1856.**

49. Casterani. *Ophthalmoscope.* Cosmos. VIII. S 612.
50. E. Jager. *Ueber die Anwendung des Ophthalmoskopes als Optometer.* Oesterr. Zeitschr. f. prakt. Heilkde. No 10.
51. De la Calle. *De l'ophthalmoscope.* Diss. Paris.

2852. W. Zehender. *Ueber die Beleuchtung des inneren Auges durch heterocentrisch Glasspiegel.* Arch. f. Ophthalm. II. (2.) S. 103—130.

1857.

2853. J. Porro. *La lunette panfocale, employée comme ophthalmoscope.* Compt. Rend. XLV. S. 103—104. — Cosmos. XI. S. 96—97.

2854. A. Burow. *Ueber Construction heterocentrischer Augenspiegel und deren Anwendung.* Arch. f. Ophthalm. III. (2.) S. 68—80.

2855. Schneller. *Ein Mikrometer am Augenspiegel.* Arch. f. Ophthalm. III. (2.) S. 121—126.

2856. R. Liebreich. *De l'examen de l'oeil au moyen de l'ophthalmoscope.* Bruxelles (Extrait de la traduction du Traité pratique des maladies des yeux par Mackenzie II. S. 1—62.)

1858.

2857. R. Liebreich. *Histologisch-ophthalmoskopische Notizen.* Arch. f. Ophthalm. IV. (2.) S. 286.

1859.

2858. C. H. Schauenburg. *Der Augenspiegel, seine Anwendung und Modificationen, mit Beiträgen zur Diagnostik innerer Augenkrankheiten.* 2. Aufl. Lahr.

2859. A. Zander. *Der Augenspiegel, seine Formen und sein Gebrauch.* Leipzig und Heidelberg.

2860. E. Follin. *Leçons sur l'application de l'ophthalmoscope au diagnostic des maladies de l'oeil.*

2861. Giraud-Teulon. *Théorie de l'ophthalmoscope avec les déductions pratiques qui en découlent etc.* Gaz. méd. de Paris No. 7 u. 8.

1860.

2862. R. Liebreich. *Methode, dem umgekehrten Bilde bei kurzsichtigen Augen eine starke Vergrößerung zu geben.* Arch. f. Ophthalm. VII. (2.) S. 130.

2863. — *Veränderungen an meinem Augenspiegel, Mikrometer.* Arch. f. Ophthalm. VII (2.) S. 134.

1861.

2864. Argilagos. *Sur un nouveau moyen de corriger l'influence fâcheuse que la lumière exerce sur les yeux soumis à l'examen avec l'ophthalmoscope.* Gaz. d. Hôpit. S. 357

2865. Janssen et Follin. *Considérations physiologiques sur l'éclairage et ses applications à l'ophthalmoscopie.* Arch. gén. de méd. Juli. — Echo méd. S. 405.

2866. O. Becker. *Ueber Wahrnehmung eines Reflexbildes im eigenen Auge.* Wien. Med. Wochenschr. 1860. S. 670—672; 684—688. (Bildchen der hinteren Linsenfläche von der Hornhaut nach hinten reflectirt.)

1862.

2867. Argilagos. *Sur l'ophthalmoscopie physiologique.* Paris.

2868. Galezowski. *Nouveau modèle d'ophthalmoscope.* Acad. de méd. Séance du 7 janvier.

2869. M. R. Gritti. *Dell'ottalmoscopo et delle malattie endoculari per esso riconosc[illegible]* Milano.

1863.

2870. A. Burow. *Notiz betreffend die Beobachtung des eigenen Augenhintergrundes.* Arch. f. Ophthal. IX. (1.) S. 155—160.

2871. E. Follin. *Leçons sur l'exploration de l'oeil et en particulier sur les applications de l'ophthalmoscope au diagnostic des maladies des yeux.* Paris.

2872. Giraud-Teulon. *De l'auto-ophthalmoscope de M. Coccius.* Gaz. des Hôpit. [illegible]

2873. — *Nouvelle méthode pour l'examen autoophthalmoscopique.* Ann. d'Ocul. XLIX. S. 1[illegible]

2874. G. Z. Laurence et Giraud-Teulon. *D'une modification des procédés ophthalmoscopiques.* Annal. d'Ocul. L. S. 106.

2875. F. Heymann. *Die Autoskopie des Auges.* Leipzig.

2876. R. Liebreich. *Atlas des Ophthalmoskopie.* Berlin. Hirschwald.

1864.

2877. C. Schweigger. *Vorlesungen über den Gebrauch des Augenspiegels.* Berlin

2878. A. Coccius. *Beschreibung eines Oculars zum Augenspiegel.* Arch. f. Ophthalm. X. (1.) S. 123—147.

2879. R. Schirmer. *Ueber das ophthalmoskopische Bild der Macula lutea.* Arch. f. Ophthalm. X. (1.) S. 148—151.

2880. Wintrich. *Ueber die Benutzung des zweckmäfsig abgeblendeten zerstreuten Tageslichts zur Oto-, Ophthalmo- und Laryngoskopie.* Erlang. Med. Neuigkeiten. 9 April.

81. F. C. Donders. *Omtrent de uitwendige vaten van het oog en den daarin waarnembaren bloedsomloop.* Versl. v. het Nederl. Gasthuis v. Oogl. No. 5. S. 260.
82. Monoyer. *Un Ophthalmoscope portatif.* Ann. d'Ocul. LII. S. 210.

**1867.**

83. Giraud-Teulon. *Instrument zur Messung der Sehnerven-Papille.* Klin. Mon.-Bl. V. S. 297.
84. — *D'une nouvelle combinaison ophthalmoscopique.* Ann. d'Ocul. LVII. S. 82.
85. L. Mauthner. *Die Bestimmung der Refractionsanomalien mit Hülfe des Augenspiegels.* Wien.
86. — *Lehrbuch der Ophthalmoskopie.* Wien.
87. H. Wilson. *Ueber Augenuntersuchung mit Hülfe des Ophthalmoskopes.* Dubl. Journ. XLIV. S. 87.
88. — *Leçons sur la théorie et la pratique de l'ophthalmoscope.* Dublin 1868.

**1868.**

89. E. Berthold. *Construction eines Augenspiegels zum Gebrauche bei Vorlesungen.* Med. Centralbl. S. 373—374.
90. Bouchut. *Emploi de l'ophthalmoscope.* Mondes. (2.) XVII. S. 274.
91. E. A. Coccius. *De apparatu optico ad interiores bulbi oculi morbos demonstrandos constructo.* Leipzig. Universitätsprogramm.

**1869.**

92. C. M. Gariel. *Sur l'ophthalmoscope.* Paris.
93. Giraud-Teulon. *De l'influence, qu'exercent les lentilles positives et négatives et leur distance à l'oeil, sur les dimensions des images ophthalmoscopiques du disque optique, dans les anomalies de la réfraction oculaire.* Compt Rend. LXIX. S. 384—387.
94. E. v. Jaeger. *Ophthalmoskopischer Handatlas.* Wien.
95. M. Perrin. *Déscription d'oeil artificiel destiné à faciliter les études ophthalmoscopiques.* Ann. d'Ocul. LXI. S. 163.
96. Poncet. *Ophthalmoscope à chambre noire.* Gaz. hebdom. de méd. et de chir. No. 32. S. 501.
97. M. Woinow. *Bemerkungen über die Untersuchungen der Refraction mittelst des Augenspiegels.* Med. Centralbl. S. 881—885.

**1870.**

98. A. Clebsch. *Ueber die Grösse des ophthalmoscopischen Bildes.* Göttingen.
99. W. Dobrowolsky. *Waarnemingen omtrent den bloedsomloop in den bodem van het oog bij den hond en bij den mensch.* Versl. Ned. Gasth. voor Oogl. No. 11. S. 170.
100. — *Zur Lehre über die Blutcirculation im Augenhintergrund des Hundes und Menschen.* Centralbl. f. d. Med. Wiss. No. 20. u. 21.
101. Javal. *Nouvel ophthalmoscope.* Gaz. hébdom. S. 278. Ann. d'Ocul. LXIII. S. 287.
102. R. Liebreich. *Atlas der Ophthalmoskopie.* Berlin. Hirschwald. 2. Aufl.
103. E. G. Loring. *Determination of the optical condition of the eye by the ophthalmoscope, with a new modification of the instruments for that purpose.* Americ. Journ. of med. Science. S. 323—347.
104. F. Mohr. *Das Ophthalmophantom, ein neues Hülfsmittel zur Erlernung der Ophthalmoskopie.* Deutsche Klinik No. 26. S. 241—243.
105. — *Das Ophthalmophantom und der Augenspiegel als Optometer.* Würzburg.
106. M. Perrin. *Traité pratique d'ophthalmoscopie et d'optométrie.* Paris.
107. C. Schweigger. *Ueber die Grösse des ophthalmoscopischen Bildes.* Nachr. v. d. k. Ges. d. Wiss. Göttingen. No. 9.
108. de Wecker et Roger. *Objectif a prismes pour l'usage d'un ophthalmoscope démonstratif.* Bull. de l Acad. des Sciences. 4 avril.

**1871.**

109. E. Loring. *Ueber den ophthalmoscopisch sichtbaren hellrothen Streifen in der Mitte der Netzhautgefäße.* Arch. f. Augen u. Ohrenheilkde. II. S. 199.

**1872.**

110. B. Carter. *Ein Augenspiegel von neuer Construction.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. X. S. 282.
111. H. Cohn. *Ein Augenspiegel für schnelle Refractionsbestimmung.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. X. S 207.
112. J. Hogg. *Ophthalmoscope à demonstration.* Med. Times and Gazette
113. Th Leber. *Der Augenspiegel.* Berlin.

2914. H. MAGNUS. *Ophthalmoscopischer Atlas.* Leipzig. Engelmann.
2915. OLDHAM. *Ueber ein verbessertes Ophthalmoskop.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. X. S. 287.
2916. SCHNABEL. *Ueber die Lage und Gröfse des aufrechten Bildes im Augenhintergrunde.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 119.
2917. SCHRÖDER. *Neuer binoculärer Augenspiegel von Coccius.* Klin. Mon.-Bl. X. S 2..
2918. SICHEL. *Nouvel ophthalmoscope.* Compt. Rend. LXXIV. S. 370.
2919. — *Note sur un ophthalmoscope à deux observateurs, pour les démonstrations.* Ann. d'Ocul. LXVII. S. 57.

1878.

2920. W. LAIDLOW PURVES. *A contribution to ophthalmoscopy.* London.

1874.

2921. E. LANDOLT. *Le grossissement des images ophthalmoscopiques.* Paris. 82 S.
2922. H. SCHMIDT. *Die Farbe der Macula lutea im Auge des Menschen.* Medic. Centralbl. N. 57. S. 900—902. — Sitz.-Ber. d. Ges. z. Beförd. d. ges. Naturw. zu Marburg, No. 1.
2923. PR. SMITH. *Demonstrations-Ophthalmoskop.* Brit. med. Journ. 19. Decbr.
2924. W. STAMMESHAUS. *Ueber eine Methode, dem aufrechten Bilde eine stärkere Vergröfserung zu ertheilen, sowie über die Gröfse des Gesichtsfeldes bei Untersuchungen im aufrechten Bilde.* Klin. Mon.-Bl. XII. S. 1.

1875.

2925. E. BERTHOLD. *Beschreibung einer einfachen Methode, vermittelst deren zwei Beobachter gleichzeitig den Augengrund untersuchen können.* Berl. klin. Wochenschr. S. 531—533.
2926. BRECHT. *Ueber den Reflex in der Umgebung der Macula lutea.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXI. (2.) S. 1—26.
2927. G. LUDWIG. *Bestimmung der Kurz- und Uebersichtigkeit mit dem Augenspiegel.* Allg. milit.-ärztl. Ztg. No. 8 u. 9.
2928. F. MONOYER. *Ophthalmoscope à trois observateurs.* Compt. Rend. LXXX. S. 982.
2929. H. SCHMIDT. *Weitere Mittheilung über die Farbe der Macula lutea im Auge des Menschen.* Sitz.-Ber. z. Bef. d. ges. Naturw. in Marburg. 24. März 1875.
2930. H. SCHMIDT-RIMPLER. *Die Macula lutea, anatomisch und ophthalmoskopisch.* Arch. f. Ophthalm. XXI. S. 17—28.
2931. J. STILLING. *Ueber ophthalmoscopische Refractionsbestimmung.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XIII. S. 143—183.

1876.

2932. BADAL. *Mesure des différences de niveau du fond de l'oeil.* Gaz. d. Hôpit. S. 115.
2933. E. A. BROWNE. *How to use the ophthalmoscope.* London. Trübner & Co.
2934. E. v. JAEGER. *Ergebnisse der Untersuchung mit dem Augenspiegel.* Wien. Seidel u. Sohn. 196 S.
2935. S. KLEIN. *Der Augenspiegel und seine Anwendung.* Wien. Klin. No. 11 u. 12 S.-A. Wien. Urban u. Schwarzenberg. 72 S.
2936. E. LANDOLT. *Die Vergröfserung des aufrechten ophthalmoscopischen Bildes.* Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 369.
2937. E. G. LORING. *Determination of the refraction of the eye by means of the ophthalmoscope.* New-York. Wood & Co. 62 S.
2938. O. E. SHAKESPEARE. *Description of a new ophthalmoscope and ophthalmometer.* Amer. Journ. of Med. Sc. Bd 141. S. 45.

1877.

2939. HELFREICH. *Ophthalmoskopische Mittheilungen über den Purpur der Retina.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XV. S. 113—115.
2940. J. HIRSCHBERG. *Ueber Refractionsophthalmoskope und ihre Anwendung.* Dtsch. Zeitschr. f. prakt. Med. S. 353—356 u. 366—368.
2941. L. KÖNIGSTEIN. *Ueber Sehpurpur und dessen Diagnose mit dem Augenspiegel.* Wien. Med. Presse. XVIII. No. 18.
2942. D. C. RUTENBERG. *Ueber Ophthalmoskopie des aufrechten Bildes mit erweitertem Gesichtsfelde.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XV. S. 375—394.
2943. SCHMIDT-RIMPLER. *Ueber eine neue Methode ophthalmoskopischer Refractionsbestimmung und über die Brennweite der concaven Augenspiegel.* Sitzgs.-Ber. d. Ges. z. Bef. d. ges. Naturw. zu Marburg. No. 10. Dec. 1876. Berl. kl. Wochenschr. XIV. No. 4 u. 5.

44. J. F. C. Thel. *Untersuchungen über das aufrechte Netzhautbild.* Diss. Berlin.
45. — *Untersuchungen über das aufrechte Netzhautbild.* Beitr. z. prakt. Augenheilkde. v. J. Hirschberg. Heft 2. S. 24—32 Leipzig, Veit u. Co.
46. L. Weiss. *Die Vergröfserung, in der man bei der Augenspiegel-Untersuchung im aufrechten Bild den Augengrund sieht — durch Messung des Augenspiegelbildes der Papille und Messung des anatomischen Durchmessers der Papille an ein und demselben Auge — direct bestimmt.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (1.) S. 109—156.

1878.

47. H. Armaignac. *Traité élément d'Ophthalmoscopie, d'Optometrie et de Réfraction oculaire.* Paris. Delahaye. 468 S.
48. G. Engelhardt. *Ueber eine neue Form des Augenspiegels.* München, Knorr u. Hirth. 36 S.
49. G. Haltenhoff. *Note sur un cas d'aphakie et aniridie traumatiques permettant l'observation du fond de l'oeil sans ophthalmoscope.* Génève. (Congr. méd. intern. de Génève.)
50. Hasner. *Ueber die Vergröfserung des Retinalbildes.* Prag. Vierteljahrschr. S. 40 bis 46.
51. J. Hirschberg. *Zur objectiven Refractionsbestimmung.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 262—263.
52. E. Landolt. *Manuel d'Ophthalmoscopie.* Paris, Doin. 107 S.
53. Schmidt-Rimpler. *Zur objectiven Refractionsmessung.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 260—262.
54. — *Ueber ophthalmoscopische Refractionsbestimmung mit Hülfe des umgekehrten Bildes.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 211.

1879.

55. G. Engelhardt. *Ueber einen neuen Augenspiegel.* Jahresber. d. Ges. f. Natur- u. Heilkde. in Dresden. 1878—1879.
56. W. R. Gowers. *A manual and atlas of medical ophthalmoscopy.* London, Churchill.
57. K. Grossmann. *Das Refractionsophthalmoskop.* Zehender's kl. Mon.-Bl. März.
58. J. Hirschberg. *Ueber den stabilen Augenspiegel.* Centralbl f. prakt. Augenheilkde. III. S. 171—172.
59. — *Ueber Refractionsophthalmoskope.* The Roy. Lond. Ophthalm. Hosp Rep. IX. 3.
60. A. v. Reuss. *Einige Beobachtungen über functionelle und ophthalmoskopische Refractionsbestimmung.* Arch. f. Ophthalm. XXV. 1.
61. Samelson. *Ueber Wahrnehmbarkeit des Augengrundes bei Aphakie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. III S. 79.
62. Schnabel. *Zur Lehre von der ophthalmoskopischen Vergröfserung.* Arch. f. Augenheilkde. IX. S. 287.
63. J. Stilling. *Notiz über Orthoskopie des Augengrundes.* Zehender's kl. Mon.-Bl. Februar.
64. L. de Wecker *Ophthalmoscope à double disque.* Ann. d'Ocul. Bd. 83. 3·4. — Zehender's kl. Mon.-Bl. März.

1880.

65. E. Landolt. *On the Enlargement of Ophthalmoscopic Images.* Brit. med. Journ. 3. Jan.
66. Parent. *Grossissement de la loupe et des images ophthalmoscopiques.* Rec. d'Ophthalm. Juli
67. J Schnabel. *Zur Lehre von der ophthalmoskopischen Vergröfserung.* Arch. f. Augenheilkde. IX. S. 287—299.

1881.

68. D. F. Baroffio. *Della determinazione e misurazione dello stato diottrico statico all' ottalmoscopio.* Giorn. di med. mil Roma XXIX. S. 1049.
69. Bayer. *Die Untersuchung der Thiere mit dem Augenspiegel.* Oesterr. Vierteljahrsch. f. Veterinärkde. Bd. 55. S 77.
70. H. Coursserant. *Note sur un ophthalmoscope à deux observateurs.* France méd. II. S. 722.
71. Foringer. *Die Ophthalmoskope in der Veterinarmedizin.* Vortr. f. Thierärzte, red v. Prof. Siedamgrotzky. Heft 4.
72. Parent. *Optométrie ophthalmoscopique à l'image renversée* Rec. d'Ophthalm. III. No. 9. S. 544

2973. Th. Reid. *On the direct measurement of ophthalmoscopic objects.* Brit. Journ. No. 1. S. 10.
2974. H. Schoeler. *Ein neues Refractions-Ophthalmoskop.* Arch. f. (Anat.) u. Ph V. S. 574.
2975. R. Ulrich. *Das ophthalmoskopische Gesichtsfeld.* Diss. Marburg. — Klin. Mo f. Augenheilkde. XIX. S. 186—212.

**1882.**

2976. G. Albertotti. *Sulla determinazione sperimentale della grandezza dell' imm oftalmoscopica rovesciata.* Giorn. della R Accad. di Med. di Torino. — An Ottalm. XI. S. 25. — Klin. Mon.-Bl. S. 335. — Arch. Ital. de Biol. I. 2.
2977. Baumeister. *Demonstration eines Augenspiegels.* Ber. d. XIV. Vers. d. ophth Ges. zu Heidelberg. S. 174.
2978. Berlin. *Augenspiegelbilder.* Arch. f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abth.) S. 16
2979. F. Fuchs. *Vorschlag zur Construction eines Augenspiegels mit neuer Refle und Polarisationsvorrichtung.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. II. S. 305—310.
2980. — *Ueber die günstigen physikalischen Bedingungen bei der Beobachtung der N haut im umgekehrten Bilde.* Bonn.
2981. Galezowsky. *Ophthalmoscope.* Rec. d'Ophthalm. S. 436.
2982. W. R. Gowers. *A manual and atlas of medical ophthalmoscopy* London, Church 386 S.
2983. A. Graefe. *Epikritische Bemerkungen über Cysticercus-Operationen und B schreibung eines Localisirungs-Ophthalmoskops.* Arch. f. Ophthalm. XXIII (1.) S.
2984. J. Hirschberg. *Ophthalmoskopie.* Eulenburg's Real-Encyclop. d. ges. Heilkde.
2985. — *Zur vergleichenden Ophthalmoskopie.* Arch. f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abt S. 81.
2986. G. L. Johnson. *An improvided ophthalmoscope.* Tr. Ophthalm. Soc. U. King London. 1881—1882. II. S. 273.
2987. H. Juler. *The application of retinoscopy to the diagnosis and treatment of the err of refraction.* Ann. d'Ocul. Bd. 88. S. 327.
2988. — *And improved ophthalmoscope for refraction and other purposes.* Brit. m Journ. II. S. 95.
2989. H. Schmidt-Rimpler. *Ophthalmoskopische Refractionsbestimmung im umgekehrten Bi* Zeitschr. f. Instr.-Kde. November.
2990. M. W. Schulten. *Ueber die Beobachtung des Augenhintergrundes unter ho gradiger Vergröfserung.* du Bois' Arch. f. Physiol. S. 285.
2991. A. M. C. Tomé. *Historia del oftalmoscopie.* Ophthalm. pract. Rev. m Ann. No. 5. S. 97.
2992. W. Uhthoff. *Demonstration eines Refractions-Ophthalmoskops zur Bestimmung Astigmatismus.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. S. 167.
2993. C. H. Vilas. *The ophthalmoscope; its theory and practical uses.* Chicago. 15

**1883.**

2994. E. Berger. *Ein neues Refractions-Ophthalmoskop.* Wien. med. Wochens No. 51. — Arch. f. Augenheilkde. XII. 4. S. 412.
2995. E. A. Browne. *How to use the ophthalmoscope.* London.
2996. Buch. *A new ophthalmoscope.* Physician a. Surg. Ann. Arbor, Mich. V. S. 1
2997. W. Burchardt. *Ein neuer Refractions-Augenspiegel.* Centralbl. f. prakt. Augenheilk September.
2998. — *Ein neues Verfahren zur Bestimmung der Refraction des Auges im aufrech Bild.* Centralbl. f. prakt Augenheilkde. December.
2999. R. B. Carter. *The ophthalmoscope.* Quain's dictionary of medecine. S. 1050
3000. Couper. *A new refraction ophthalmoscope.* Med. Times and Gaz. No. 1719.
3001. H. Coursserant. *Nouvel ophthalmoscope à deux observateurs.* Bull. et mém. de Soc. franç. d'Ophthalm. S. 113.
3002. F. Fuchs. *Ueber die günstigsten physikalischen Bedingungen bei der Beobachtu der Netzhaut im umgekehrten Bilde.* Verh. d. naturw. Vers. d. preufs. Rheinl Westfalens. XXXX. 4. Folge. X. S. 181.
3003. A. Graefe. *Noch ein Wort über mein Localisirungs-Ophthalmoskop.* Klin. Mo Bl. f. Augenheilkde. S. 370.
3004. Lewkowitsch. *Epikritische Bemerkungen über das Localisirungs-Ophthalmosk von Professor Alfred Graefe.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 302.

3005. Nachet. *Ophthalmoscope à bouton automatique.* Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 161.
3006. F. Ostwaldt. *Experimentelle Untersuchung über den centralen Reflexstreifen an den Netzhautgefäfsen.* Diss. — Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Febr.-März.
3007. Parent. *Déscription d'un ophthalmoscope à verres cylindriques.* Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 130.
3008. Pflüger. *Ein neues Refractions-Ophthalmoskop.* Ber. d. ophthalm. Ges. z. Heidelberg. S. 183.
3009. Roulot. *Ophthalmoscope à réfraction.* Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 28.
3010. J. B. Story. *The estimation of refraction by retinoscopy before and after atropinisation.* Ophthalm. Rev. London. II. S. 294.

1884.

3011. Burnett. *Why the eyes of animals shine in the dark.* Pop. Sc. Month. New-York XXIV. S. 813.
3012. F. Dujardin. *L'examen ophthalmoscopique chez les tout jeunes enfants.* Journ. d. scienc. méd. de Lille. VI. S. 575.
3013. Eperon. *De la détermination à l'image droite des degrés élevés de myopie.* Arch. d'Ophthalm. S. 217.
3014. Heuse. *Ein Lichtreflex der Retina.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXX. (1.) S. 155 bis 158.
3015. F. Hodges. *On some peculiarities connected with retinal images.* Brain. VII. S. 77.
3016. J. Masselon. *Mémoire d'ophthalmoscopie.* Paris. Doin.
3017. L. Mauthner. *Historische Notiz in Betreff der Lehre vom Leuchten der Augen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Septbr. S. 257.
3018. G. Mayerhausen. *Vorschlag zur Bezeichnung der Augenspiegel, sowie der optischen Spiegel überhaupt.* Berl. klin. Wochenschr. XXI. No. 36. — Rev. clin. d'ocul. 5me année. No. 7.
3019. H. Parent. *Nouvel ophthalmoscope.* Bull. de l'arsén. méd.-chir. 1883/84. I S. 60. — Rev. clin. d'ocul. August.
3020. — *Disque rotatif et pivotant muni de quatre miroirs pour l'examen à l'image droite.* Rec. d'Ophthalm. S. 170.
3021. Pflüger. *Ein neues Refractions-Ophthalmoskop.* Ber. über die Univ.-Augen-Klin. in Bern. 1882. S. 69.
3022. Kimpler. *Ueber ophthalmoskopische Refractionsbestimmung.* Dtsche. Wochenschr. S. 721.
3023. *Ophthalmoscopes à refraction munis de verres cylindriques.* Progr. méd. XII. S. 262.

1885.

3024. Agnew. *The insufficiency of the ophthalmoscope as the sole test of errors of refraction.* Transact. of the Amer. ophthalm. Soc. S. 112.
3025. A. H. Benson. *A convenient ophthalmoscope for students and practitioners.* Brit. med. Journ. I. S. 68.
3026. Berger. *Refractions-Ophthalmoskop mit variablem Intervalle zwischen je zwei Correctionsgläsern.* Zeitschr f. Instrumentenkde. V. Heft 3.
3027. Burchardt. *Dioptrimeter für das aufrechte Bild.* Centralbl. f. chir. u. orthop. Mech. I. S. 39.
3028. S. M. Burnett. *Why the eyes of animals shine in the dark.* Wash Bull. Phil. soc. VIII. S. 13–14.
3029. Couper. *New Ophthalmoscope.* Lancet. I. S. 112.
3030. W. Dennet. *The electric light ophthalmoscope.* Transact. of the Amer. ophthalm. Soc. S. 156. — New York. Med. Rec. Mai. S. 503
3031. J. B. Emerson. *A schematic eye for students of ophthalmoscopy.* New York Med. Rec. Oktbr. S. 398.
3032. Ferri. *Grandezza del fondo oculare visibile ad immagine diritta.* Giorn. d. r. Accad. di med. di Torino. (3. XXXIII. S. 48
3033. Fox. *An improved refraction ophthalmoscope.* Med. News. Phil. XLVI. S. 279.
3034. Galezowsky. *Traité iconographique d'ophthalmoscopie.* Paris. Baillière.
3035. Gunn. *New Ophthalmoscope.* Lancet. I. S. 112
3036. E. Jackson. *A new form of refraction ophthalmoscope.* Transact. of the amer. opthalm. soc. 21. meeting. S. 111. — Med News. XLVII.
3037 Lang. *New Ophthalmoscope.* Lancet. I S. 112

3038. Lassalle. *Peut-on, à l'aide du miroir ophthalmoscopique et sans verres correcteurs, déterminer, avec une exactitude suffisante, la réfraction statique de l'oeil?* Lyon méd. XLIX. S. 521.
3039. R. Liebreich. *Atlas der Ophthalmoscopie.* 3. Aufl. Berlin, Hirschwald. Auch Englisch bei J. A. Churchill, London.
3040. E. Loring. *Text book of ophthalmoscopy.* Part I. *The normal eye, determination of refraction, diseases of the media, physiological optics and theory of the ophthalmoscops.*
3041. Malgat. *Etude comparative du fond de l'oeil normal et pathologique à l'ophthalmoscope.* Nice méd. IX. S. 145 u. X. S. 200.
3042. Morton. *New Ophthalmoscope* Lancet. I. S. 112.
3043. Parent. *Ophthalmoscope à verres cylindriques.* Arch. d'Ophthalm. S. 182.
3044. Randall. *Some additions of the ophthalmoscope.* Med. News. XLVII. No. 16. S. 442.
3045. Schleich. *Der Augenhintergrund des Kaninchens und des Frosches als Hülfsmittel beim Unterricht im Ophthalmoskopiren.* Mittheil. a. d. ophthalm. Klin. in Tübingen. II. 2. S. 167 u. 258.
3046. M. Stanford. *Ophthalmoscopes.* Ophthalm. soc. of the unit. kingd. 8. Januar.
3047. Szokalski. *Ueber das Leuchten der Thieraugen in der Dunkelheit.* Raszechsiwist. No. 22.

**1886.**

3048. Giraud-Teulon. *Substitution dans l'éclairage ophthalmoscopique binoculaire de la lumière directe à la lumière par réflexion latérale.* Ann. d'Ocul. Bd. 96. S. 246. — Journ. Americ. med. Ass. VI. S. 456.
3049. Hirschfeld. *Der scheinbare Ort der Trübungen im Auge.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 314.
3050. Jackson. *The ophthalmoscope for the general practitioner.* Maryland med. Journ. XV. S. 23.
3051. — *Lens series for the refraction ophthalmoscope.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 361.
3052. H. E. Juler. *Ophthalmoscope à réfraction avec foyer électrique.* Rec. d'Ophthalm. S. 426.
3053. — *Ophthalmoscope with electric light.* Ophthalm. Rev. S. 56.
3054. — *Présentation des deux ophthalmoscopes.* Bull. et mém. de la soc. franç. d'Ophthalm. IV. S. 340.
3055. Randall. *Modified Loring ophthalmoscope, with cylindrical lenses.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 273.
3056. Th. Reid. *Polarisation ophthalmoscope.* Ophthalm. Rev. S. 56. — Transact. of the ophthalm. soc. of the unit. kingd. VII. S. 497.
3057. Pr. Smith. *A new demonstrating ophthalmoscope.* Ophthalm. Rev. S. 246.
3058. M. Stanford. *New instrument for rapidly changing ophthalmoscopic lenses.* Ophthalm. Rev. S. 334.
3059. F. Valk. *The diagnosis of astigmatism with the ophthalmoscope.* Med. Rec. New York. XXIX. S. 673.
3060. A. Vossius. *Leitfaden zum Gebrauch des Augenspiegels für Studirende und Aerzte.* Berlin. Hirschwald. 88 S.

**1887.**

3061. Sw. Burnett. *A modification of the refraction ophthalmoscope.* Transact. of the americ. ophthalm. soc. S. 589.
3062. W. S. Dennet. *Modification of the ophthalmoscope.* Ophthalm. Rev. S. 303.
3063. F. Dimmer. *Der Augenspiegel und die ophthalmoskopische Diagnostik.* Leipzig und Wien 176 S.
3064. E. Jackson. *A refraction ophthalmoscope.* Ophthalm. Rev. S. 1.
3065. W. H. Jessop. *New ophthalmoscope.* Brit. med. Journ. II. S. 724.
3066. J. Masselon. *L'ophthalmoscope Helmholtz-Wecker.* Ann. d'Ocul. Bd. 98. S. 24.
3067. Power. *Ophthalmoscope.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 292.
3068. Risley. *A modified form of ophthalmoscope with cylinders* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 587.
3069. F. Valk. *An improved ophthalmoscope.* New-York. med. Rec. April.
3070. W. Zehender. *Zur Erfindung des Augenspiegels.* Münch med. Wochenschr. S. 75.

**1888.**

1. L. Bellarminow. *Neue Methode der ophthalmoskopischen Untersuchung.* (Russisch.) Russk. Med. No. 44. — Münch. med. Wochenschr. S. 865.

2. — *Erwiderung.* Berl. kl. Wochenschr. S. 1049.

3. P. Bongers. *Einfache Methode der Refractionsbestimmung im umgekehrten Bilde.* Kl. Mon-Bl. f. Augenheilkde. S. 194.

4. Claiburne. *The theory and practice of the ophthalmoscope.* Detroit, G. S. Davis. 88 S.

5. J. Dawson. *Th determination of errors of refraction by objective test.* Transact. South. Car. u. Assoc Charleston. S. 77.

6. J. B. Emerson. *A schematic eye for students of ophthalmoscopy.* Post Graduate. New-York 1888/89. S. 46.

7. L. da Fonseca. *Atlas ophthalmoscopique.* Correio med. de Lisboa. Nov. u. Dec.

8. Guaita. *Sulla distinzione oftalmoscopica del pigmento retinico e coroideale.* Ann. di Ottalm. S. 501.

9. G. Haenel. *Objective Messung der Refraction des Auges.* Jahresber. d. Ges. f. Nat.- u. Heilkde. in Dresden. 1887/88. S. 121.

0. J. Hirschberg. *Ueber H. Dr. Bellarminow's neue Art der ophthalmoskopischen Untersuchung.* Berl. med. Wochenschr. No. 49.

1. C. Hoor. *Objective Methoden zur Einstellungs- (Refractions-) Bestimmung der Augen.* Wien. med. Wochenschr. No. 20.

2. L. Howe. *A new method of testing the refraction of the eye.* Lancet. 3. März. S. 417.

3. Leroy. *Moyen d'éviter le reflet cornéen.* Arch. d'Ophthalm. VIII. S. 280.

4. B. Schwarzbach. *A new method of ophthalmoscopy.* Austral. Med. Gaz. Sydney. VIII. S. 236.

5. S. Segal. *Ein Apparat zur Demonstration von ophthalmoskopischen Bildern des Phantoms von Perrin.* (Russisch.) Abh. d. med. Sect. d. Ges. d. Experim.-Wiss. a. d. Univ. zu Charkow f. d. Jahr 1888. II. S. 39.

6. F. Valk *An improved ophthalmoscope.* Post Graduate. New-York. 1888/89. VII. S. 48.

7. A. Vossius. *Leitfaden zum Gebrauch des Augenspiegels für Studierende und Aerzte.* 2. Aufl. Berlin, A. Hirschwald.

**1889.**

8. L. Borthen. *Neuer Refractionsaugenspiegel mit zwei Brennweiten.* Nord. ophthalm. Tidsskr. II. S 105. — Norsk. Mag. f. Lägevid. No. 9.

9. — *Nouvel ophthalmoscope à réfraction à deux foyers.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 337.

0. — *Ein neues Refractionsophthalmoskop mit doppeltem Spiegel.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 424–429.

1. S. Drutschinin. *Vereinfachte Methode der objectiven Refractionsbestimmung.* (Russisch.) Westnik ophthalm. VI. 4/5. S. 316

2. A. Groenouw. *Wo liegt die vordere Grenze des ophthalmoskopisch sichtbaren Augenhintergrundes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (3.) S. 29.

3. A. Hodgkinson. *On the luminosity of eyes in the dusk.* Mem. a. Proc. Manchester Literar. a. Phil. Soc. 4 II. S. 224.

4. L. Konigstein. *Practische Anleitung zum Gebrauch des Augenspiegels.* Wien u. Leipzig, Urban u. Schwarzenberg.

5. H Magnus. *Ueber ophthalmoskopische Erscheinungen in der Peripherie des Augengrundes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. 3. S. 1—25.

6. A Randall. *Ueber den nasalen Reflexbogenstreif von Dr. L. Weiſs.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S 178.

7. — *The curvilinear reflection of Weiſs as a prodromal sign of myopia.* Med. News. LIV. No 6. S. 152

8. Schmidt Rimpler. *Prioritätsreclamation gegen Bellarminow.* Centralbl. f prakt. Augenheilkde. Januar. S. 25.

9. Schweigger. *Ueber den electrischen Augenspiegel* Verh. d. physiol. Ges. Berlin. — du Bois' Arch. S 365—366.

**1890.**

0. L. Borthen. *A new refraction ophthalmoscope.* Brit med. Journ 18. Januar

3101. W. R. Gowers. *A manual and atlas of medical ophthalmoscopy.* 3. Ausg. Londo[illegible]
3102. Harlan. *A new ophthalmoscope.* Transact. of the Americ. ophthalm. So[illegible] 22. Vers. S. 730—731.
3103. E. v. Jaeger. *Ophthalmoskopischer Handatlas.* Neu bearbeitet von M. Salzma[illegible] Wien, Deuticke.
3104. Kalt. *Nouveau modèle d'ophthalmoscope.* Soc. d'Ophthalm. 4. März.
3105. Knoepfler. *Ophthalmoscope à refraction pouvant servir de disque optométriq[illegible]* Rev. méd. de l'est. Nancy. XXII S. 103.
3106. C. J. A. Leroy. *Un ophthalmoscop-optomètre.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 229.
3107. — *L'influence de la distance de l'observateur dans la mesure des amétropies à l'im[illegible] droite.* Rev. gén. d'Ophthalm. IX. S. 433—436.
3108. W. Nicati. *Manière de déterminer plus précisément la position de l'image ophthalm[illegible] scopique renversée d'estimer le degré de la myopie.* Arch. d'Ophthalm. S. 160.
3109. Payne. *A new ophthalmoscope.* New-York. med. Journ. S. 139.
3110. E. Pulvermacher. *Ueber die Sternfigur in der Netzhautmitte.* Centralbl. f. pra[illegible] Augenheilkde. 14. Jahrg. S. 325—330.
3111. Rudall. *Note on examination with the ophthalmoscope by ordinary dayli[illegible]* Austral. med. Soc. Melbourne. XII. S. 415.
3112. Vignes. *Un ophthalmoscope à réfraction.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 228.

**1891.**

3113. F. Dimmer. *Die ophthalmoskopischen Lichtreflexe der Netzhaut. Nebst Beiträ[illegible] zur normalen Anatomie der Netzhaut.* Leipzig u. Wien. F. Deuticke. 240 S.
3114. O. Gerloff. *Eine Modification des Schmidt-Rimpler'schen Refractio[illegible] bestimmers.* Zehender's klin. Mon.-Bl. 29. Jahrg. S. 391—394.
3115. J. P. Nuel. *D'une apparence ophthalmoscopique de l'oeil myope. — Contribution [illegible] la connaissance de la prédisposition héréditaire à la myopie.* Arch. d'Ophthalm. [illegible] S. 56—73.
3116. H. Parent. *Ophthalmoscope optométrique et phakométrique.* Arch. d'Ophthalm. [illegible] S. 313—320.
3117. Schweigger. *Ueber objective Bestimmung der Refraction und den electrischen Aug[illegible] spiegel.* Heidelberg. Helmholtz-Festschr. S. 86—91.

**1892.**

3118. A. Antonelli. *Oftalmoscopio a refrazione.* Ann. di Ottalm. Anno XXI. S. [illegible]
3119. J. Bjerrum. *Anleitung zum Gebrauch des Augenspiegels.* Deutsch von O. Schw[illegible] Leipzig.
3120. Dahrenstaedt. *Ueber einen Fall von Sternfigur der Netzhautmitte.* Centralbl. [illegible] prakt. Augenheilkde. XVI. S. 42—43.
3121. Davis. *A Reply to M. Story as to the causes of the light streak on retinal ves[illegible]* Ophthalm. Rev. Septbr.
3122. — *The light-streak as seen upon the centre of the retinal vessels, owe to reflect[illegible] refraction or to both.* Arch. of Ophthalm. XX. S. 44.
3123. F. Dimmer. *Beiträge zur Ophthalmoskopie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV[illegible] S. 19—51.
3124. Fage. *Ophthalmoscope à réfraction pour les examens rapides.* Ann. d'Ocul. C[illegible] S. 279.
3125. Galezowski. *Du grossissement de l'image ophthalmoscopique dans l'étude de la p[illegible] logie des vaisseaux rétiniens.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 2. Juli. S. 60[illegible]
3126. — *Du grossissement de l'image ophthalmoscopique dans l'examen des vaiss[illegible] rétiniens.* Rec. d'ophthalm. No. 7. S. 385.
3127. Th. Guilloz. *Examen binoculaire de l'image renversée du fond de l'oeil av[illegible] ophthalmoscope ordinaire.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (N.S.) IV. S. 203—[illegible]
3128. E. Lessing. *Vervollkommnung der Refractionsbestimmung bis zur Unabhängig[illegible] vom Untersuchten.* Hamburg, O. Meissner. 13 S.
3129. H. Parent. *Optométrie ophthalmoscopique au moyen de l'image renversée.* Bull. de [illegible] Soc. d'Ophthalm. de Paris. S. 105. — Arch. d'Ophthalm. S. 560.
3130. Philipsen. *Exposé algébrique élémentaire du grossissement ophthalmoscopiq[illegible]* Ann. d'Ocul. CVII. S. 177.
3131. G. Rindfleisch. *Ein einfacher Apparat zur objectiven Refractionsbestimmu[illegible]* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXX. S. 219—225.

32. Schnabel. *Ueber die Beleuchtung des Gesichtsfeldes bei der Untersuchung mit dem Augenspiegel.* Prag. med. Wochenschr. No. 30.
33. E. Schultz. *Ophthalmoskopische Befunde an der Macula lutea.* Diss. Strafsburg. 33 S.
34. P. Smith. *On the corneal reflex of the ophthalmoscope as a test of fixation and deviation.* Ophthalm. Rev. Febr.
35. — *L'image réfléchie de la cornée produite par l'ophthalmoscope comme moyen de déterminer les déviations et le mode de fixation de l'oeil.* Ophthalm. Rev. XI. S. 37—42.
36. Story. *The light reflex on the retinal vessels.* Dublin. Journ. of med. Sc. No. 10. S. 313. — Ophthalm. Rev. XI. S. 100—108.
37. W. F. Weymann. *The region of the macula lutea in ophthalmoscopy.* Ophthalm. Rec. Decbr.

1893.

38. Cl. du Bois-Reymond. *Der sichtbare Puls der Netzhautgefäfse.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. 1893. S. 303—305.
39. F. Dimmer. *Der Augenspiegel und die ophthalmoskopische Diagnostik.* 2. Aufl. Wien, Deuticke. 213 S.
40. H. v. Helmholtz. *The history of the discovery of the ophthalmoscope.* Med. Rec. 16. Decbr.
41. L. Howe. *A convenient ophthalmoscope.* Americ. Journ. of Ophthalm. Febr.
42. Inouye. *Ophthalmoskopischer Atlas.* Tokio. 2 Hefte.
43. Moon. *A portable and combined optometer and ophthalmoscope.* Med. and Surgic. Rep. 11. Febr.
44. D. E. Orro. *Ottalmoscopio fisso.* Ann. di Ottalm. XXII. S. 477.
45. Snell. *A new ophthalmoscope.* Brit. med. Journ. No. 1678. S. 417. 20. Febr.
46. Weiland. *A new eye model (anaklasimeter) for determining the refraction by ophthalmoscopy and retinoscopy.* Med. News LXIII. No. 2. S. 41.
47. *Das Augenleuchten und die Erfindung des Augenspiegels.* Dargestellt in Abhandlungen von E. v. Brücke, W. Cumming, H. v. Helmholtz und C. G. Theod. Ruete. (Aeltere Beiträge zur Physiologie der Sinnesorgane in Neudrucken und Uebersetzungen herausgegeben von Arthur König.) Hamburg u. Leipzig, L. Voss.

1894.

48. Ferri. *Della grandezza del campo di osservazione nell'esame oftalmoscopico.* Ann. di Ottalm. Anno XXIII. S. 180.
49. Th. Guilloz. *Champ d'observation dans l'examen ophthalmoscopique à l'image droite.* Arch. d'Ophthalm. XIV. S. 118—130 u. 163—179.
50. G. Hartridge. *The Ophthalmoscope.* London, Lewis. 1894.
51. C. Kunn. *Vorschlag einer Augenspiegelmodification.* Wien. Klin. Rundsch. No. 2. S. 19.
52. E. v. Jaeger. *Ophthalmoskopischer Handatlas.* Neu bearbeitet von Dr M. Salzmann. 2. Aufl. der neuen Ausg. Wien, F. Deuticke. 92 S. mit 32 Taf.
53. Th. Proskauer. *Ein kleiner Beitrag zur Autophthalmoskopie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 104.
54. A. Roth. *Ein Augenspiegel mit neuem Mechanismus zur selbstthätigen Linsenauswechselung.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXII. Jahrg. S. 256—263.
55. E. Buchner. *Eine neue Methode zur Refractionsbestimmung im umgekehrten Bilde.* Diss. Zürich. 33 S. Hamburg, Voss.

## 2. Schattenprobe, Skiaskopie oder Retinoskopie.

1873.

56. Cuignet. *Kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 14.

1874.

57. Cuignet. *Kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 239 u. 316.

1877.

58. Cuignet. *Kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 59.

1878.

59. Mengin. *De la kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 122.

1879.

60. Cuignet. *Kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 73.

1880.

3161. Cuignet. *Kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 321 u. 520.
3162. Parent. *De la kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 65 u. 424.

1882.

3163. W. Charnley. *On the theory of the so-called keratoscopie, and its practical appli* Ophthalm. Hosp. Rep. London. X. S. 344.
3164. Chibret. *Détermination quantitative de la myopie par la kératoscopie (fant rétinienne) à l'aide d'un simple miroir plan.* Ann. d'Ocul. Bd. 88. S. 238.
3165. Forbes. *On keratoscopy.* Ophthalm. Hosp. Rep. S. 62.
3166. D. Hasbrouck. *Retinoskopy.* Journ. of Ophthalm. Otol. et Laryngol. S. 12
3167. Juler. *The application of retinoskopy to the diagnosis and treatment of the of refraction.* Brit. med. Journ. II. S. 327. — Ann. d'Ocul. Bd. 88. S. 327
3168. Loiseau. *Application à l'examen des hommes de guerre du procédé de déterm de la réfraction dit „keratoskopie“.* Ann. d'oculist. S. 156.
3169. Parent. *De la kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 216.

1883.

3170. A. B. Prowse. *Retinoscopy.* Brit. med. Journ. S. 200.
3171. J. B. Story. *The advantages of the plane ophthalmoscopic mirror in retino* Ophthalm. Rev. London. II. S. 228.
3172. — *The estimation of refraction by retinoskopy before and after atropini* Ophthalm Rev. II. S. 294.
3173. Wecker et Masselon. *La kératoskopie clinique.* Ann. d'oculist. S. 165.

1884.

3174. A. R. Baker. *Retinoscopy.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 116.
3175. Hubert und J. M. Prouff. *Kératoscopie; nouveau kératoscope.* Rev. clin. d IV. S. 110.
3176. Leahy. *On keratoskopy etc.* Indian med. gaz. Calcutta. S. 184.
3177. A. Leroy. *De la kératoscopie.* Arch. d'Ophthalm. S. 140.
3178. P. Smith. *A simple ophthalmoscope for the shadow-test.* Ophthalm. Rev S. 266.

1885.

3179. E. Jackson. *The measurement of refraction by the shadow test, or retino* Americ. Journ. of med. sc. Philadelphia. N. S. Bd. 89. S. 404.
3180. Pflüger. *Skiaskopie.* Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzte. XV. S. 361.

1886.

3181. Chauvel. *De la constatation objective de l'astigmatisme par les images corn au conseil de revision.* Arch. de méd. et de ph. mil. VIII. S. 257—362.
3182. Chibret. *Skiascopie; ses avantages: sa place en ophthalmologie.* Arch. d'Oph VI. S. 146—154.
3183. Cuignet. *Kératoscopie, Rétinoscopie, Pupilloscopie, Dioptroscopie et Réfr* Rec. d'Ophthalm. S. 705. — Mém. de la soc. franç. d'Ophthalm. IV. S. 295
3184. N. Gordon. *Om Skiaskopi.* Ugeskr. f. läger. II. No. 35—36.
3185. Haynes. *A new instrument for facilitating retinoskopy.* Ophthalm. Rev. L V. S. 282.
3186. H. Humphrey. *A new instrument for facilitating retinoscopy.* Ophthalm. S. 282.
3187. Jackson. *The best form and practical value of the shadow test in the measu of refraction.* Journ. americ. med. assoc. VII. S. 262.
3188. — *A form of plane miror for the shadow test.* Med. News. 12. Juni.
3189. Morton and Barrett. *A clinical investigation of the merits of various meth practising retinoskopy.* Brit. med. Journ. I. S. 105.
3190. Norrie. *On Skiaskopie.* Ugesk. f. Laeger. Kopenhagen. S. 545.
3191. Thompson. *Retinoscopy in extreme degrees of ametropia* Americ. Jour Ophthalm. S. 338.

1887.

3192. A. R. Baker. *Retinoscopy.* Americ. Journ. of Ophthalm. Bd. IV. S. 2 Transact. of the Intern. Med. Congr. Washington 1887. III. S. 774—780.
3193. J. H. Claiborne. *Retinoscopy, or the shadow-test.* Med. Rec. New-York. X S. 587.

94. Cross. *Retinoscopy.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 290. — Transact. of the Intern. med. Congr. Washington. III. S. 770.
95. Cuignet. *Kératoscopie, rétinoscopie, pupilloscopie, dioptroscopie et réfraction.* Rec. d'Ophthalm. S. 11.
96. — *Images kératoscopiques.* Bull. et Mém. de la Soc. franç. d'Ophthalm. S. 25.
97. Grandclément. *De la kératoscopie ou skiascopie.* Lyon méd. LV. S. 385.
98. C. J. A. Leroy. *Les phénomènes de l'ombre pupillaire.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 289, 337 u. 440.
99. T. Maczewski. *Skiaskopija.* Kron. lekarsk. VIII. S. 400.
00. Monoyer. *Optométrie scotoscopique.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 529.
01. Parent. *Diagnostic et détermination de l'astigmatisme.* Paris.
02. Zieminski. *De la détermination de l'amétropie par la rétinoskiaskopie.* Bull. et mém. de la soc. franç. d'ophthalm. S 29.

1888.

03. S. M. Burnett. *Skiascopy; or the „shadow" test for the determination of the refraction of the eye.* Med. News. Philadelphia. LIII. S. 281.
04. Ceresento. *A propos de la skiascopie (ancienne kératoscopie).* Rec. d'Ophthalm. S. 449.
05. Chauvel. *A propos de la skiaskopie (ancienne kératoskopie.)* Rec. d'Ophthalm. S. 449.
06. A. Chodin. *Ueber Retinoskopie (Skiaskopie).* Westnik ophthalm. V. S. 309.
07. Chouet. *De la skiascopie (ancienne kératoscopie).* Rec. d'Ophthalm. S. 216 u. 344.
08. Grandclément *Encore un mot sur la kératoscopie.* Lyon méd. LVII. S. 160.
09 Leroy. *Sur la théorie de l'ombre pupillaire; réponse à M. le Prof. Monoyer, réfutation directe de la théorie de Landolt.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 494.
10. Monoyer. *Optométrie scotoscopique.* Rev. gén. d'Ophthalm. No. 7. S. 289. No. 8, S. 337.
11. Neuschüler. *Skiaskopia e sua pratica applicazione.* Boll. d'Ocul. S. 165.
12. Schwarzbach. *A new method of ophthalmoscopy.* Australian med. Gaz. Sidney. VII. S. 236.
13. Simi. *Keratoscopia.* Boll. d'ocul. No. 5. Firenze.

1889.

14. S. Eliasberg. *Die Methode von Cuignet-Parent zur objectiven Bestimmung von Refractionsanomalien* Russisch.) Wratsch. No. 4 u. 5
15. D. Hasbrouch. *Retinoscopy: the shadow test* Journ. of Ophthalm., Otol. and Laryngol. New-York. S. 122.
16. Langier. *Nouveau système pour reconnaitre certaines déformations de la cornée.* Union med. S. 110.
17. Lawrentjew *Retinoskopie als bequemste Methode zur Bestimmung von Refractionsanomalien.* Russisch. Wojenno Sanitarnoje Djelo. No. 16.
18. Overweg. *Objective Bestimmung der Refraction des Auges durch die Skiaskopie.* Dtsche. milit.-ärztl. Zeitschr. S. 157.
19. C. Schweigger. *Ueber Refractionsbestimmung durch die Beleuchtungsprobe.* Arch. f Augenheilkde. XX S 442. — Ber üb d. XX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 115.
20. H. Snellen. *Skiaskopie.* Neederl Tijdschr. voor Geneesk. '2. R ; S. 153.
21. Veszeley. *Ueber Skiaskopie.* Wien. klin. Wochenschr. No 52.

1890.

22. Beaumont *The shadow-test in the diagnosis and estimation of ametropia.* London. H. K. Lewis.
23. S M. Burnett. *Skiaskopy.* Arch Ophthalm. New-York. XIX. S. 260.
24. E. Jackson. *Retinal illumination for the shadow-test.* Ophthalm. Rev Febr.
25 Masselon. *Examen fonctionnel de l'oeil.* Paris.
26. Saad-Sameh *Nouvelle étude clinique et théorique sur la photoptoscopie (ancienne kératoscopie de Cuignet) et le photomètre* Thèse de Paris.
27. H. Wurdemann. *The use of Skiascopy (the shadow test) in determination of refractive errors.* Americ. Journ. of Ophthalm. VII S. 137

1891.

28. E. Bock. *Ueber Skiaskopie.* Vortrag, gehalten im Verein der Aerzte in Krain am 21. März. Memorabilien. Jahrg. XXXV. Heft 5. S 257.

3229. CHIBRET. *De la Skiaskopie, son historique, son application clinique.* Heidelberg HELMHOLTZ-Festschrift. S. 45—46.
3230. A. E. FICK. *Die Bestimmung des Brechungszustandes eines Auges durch Schatten probe (Skiaskopie).* 67 S. und 3 Tafeln. Wiesbaden. J. F. Bergmann.
3231. L. KÖNIGSTEIN. *Ueber Skiaskopie.* Wiener med. Presse. No. 15. 16. 17. 18.
3232. H. PARENT. *Exposé théorique du procédé d'optométric ophtalmoscopique dit Cuignet ou skiaskopie.* Arch. d'Ophtalm. XI. S. 535—545. — Heidelberger HELMHOLTZ-Festschrift. S. 47—53.
3233. A. ROTH. *Ueber Skiaskopie nebst Demonstration neuer skiaskopischer Instrumente* Dtsch. militärärztl. Zeitschr.
3234. H. SNELLEN. *De Verlichting bij Skiaskopie. Antwoord aan den Herrn J. D. Koch.* Weekblad. No. 21. S. 649.
3235. H. WÜRDEMANN. *A simple skiaskope.* Americ. Journ. of Ophthalm. Vol. VII S. 228.

**1892.**

3236. A. ANTONELLI. *Ottometro a Schiascopia.* Annali di Ottalmologia XXI. S. 219—[illegible] Arch. d'Ophtalm. XII. S. 230—232.
3237. G. BITZOS. *La Skiascopie (Kératoscopie).* Paris. 96 S. Société d'éditions scientifiques
3238. S. M. BURNETT. *Some incidental phenomena of the shadow test.* Med. News 5. Nov. — Transact. of the Americ. ophthalm. soc. S. 388. — Americ. Journ. Ophthalm. August.
3239. HEDDAEUS. *Zur Skiaskopie.* Klin. Monatsbl. f. Augenhlkde. XXX. S. 326.
3240. W. E. LAMBERT. *Retinoscopy as a means of estimating astigmatism.* Read before the Hospital Graduates Club. May 24. New York med. Journ. Vol. LVI. S. 239
3241. E. MÜLLER. *Zur Skiaskopie.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXX. S. 389—39
3242. H. PARENT. *Exposé théorique du procédé d'optométric ophtalmoscopique dit de Cuignet ou skiaskopie.* Arch. d'ophthalm. T. XII. S. 287—314.
3243. RÜPPEL. *Zur Skiaskopie. I. Mathematische Begründung der Iristheorie. II. Einfluss der Einstellung des untersuchenden Auges.* Gräfe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 3 (2) S. 174—203.

**1893.**

3244. L. BARDELLI. *La schiascopia. (Tesi de laurea. — Con note et aggiunte del Pr L. Guaita.)* Diss. — Ann. d'Ottalm. XXII. S. 171.
3245. G. BITZOS. *Encore quelques mots sur la skiaskopie.* Ann. d'Oculist. T. CIX. S. 34
3246. DUNN. *Some remarks upon retinoscopy as a means of determining the refraction of the nucleus of the lens.* Arch. of Ophthalm. XXII. S. 329. 333.
3247. C. HESS. *Zur Skiaskopie.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXXI. S. 153—1[illegible]
3248. — *Demonstration eines Skiaskops.* Ber. d. XXIII. Vers. d. Ophthalm. Ges. S. 236.
3249. JACKSON. *The position of the source of light and the observer in skiascopy or shadow test.* Arch. of Ophthalm. XXII. S. 321. 328.
3250. R. KATZ. *Ueber Skiaskopie.* Wratsch. No. 15.
3251. H. TRUHART-FELLIN. *Ueber Skiaskopie.* St. Petersb. med. Wochenschr. No S. 65.
3252. H. WOLF. *Ein neues Scheibenskiaskop mit selbstthätigem Spiegelapparat.* Klin. Monatsbl f. Augenheilkde. Bd. XXXI. S. 439—447.
3253. ZIEM. *Ueber Durchleuchtung des Auges.* Wien. klin. Wochenschr. VI. S. 81—[illegible] und S. 103—106.

**1894.**

3254. E. JACKSON. *Die Sehzone der dioptrischen Medien und ihr Studium durch Skiaskopie* Journ. Americ. med. Assoc. 1. Sept.
3255. R. KATZ. *Ueber die Prüfung der Refraktion des Auges mit Hülfe der Skiaskopie* (Russisch). Wratsch. No. 29.
3256. L. KOTCHOROWSKI. *Ueber die Skiaskopie.* (Russisch). Woienno med. Journ. Apr
3257. W. E. LAMBERT. *A refractometer for facilitating retinoscopy.* New York eye and ear infirmary Reports. II. S. 35.
3258. B. A. RANDALL. *Retinoskopie, als genaue Probe bei der Messung von Refraktionsstörungen.* Journ. Americ. med. Assoc. 1. Sept.
3259. P. SGROSSO. *Communications cliniques d'optometrie, ophthalmométrie, skiaskopie et* Arch. di Ottalm. II.

### 3. Photographiren des Augenhintergrundes.


1865.

60. A. M. Rosebrugh. *Sur un nouvel ophthalmoscope propre à photographier le fond de l'oeil.* Ophthalm. Rev. S. 119.

1887.

61. E. Barr. *On photographing the interior of the human eyeball.* Americ. Journ. Ophthalm. IV. S. 181.

62. L. Howe. *Photographs of the fundus of the living human eye.* Ophthalm. Rev. S. 304. — Transact. of the americ. ophthalm. soc. S. 568.

63. Panel. *D'un moyen pratique de photographier le fond de l'oeil.* Paris, Delahaye und Lecrosnier.

64. A. M. Rosebrugh. *Photographing the retinal image impressed on the living fundus oculi.* Torento. 8 S.

1888.

65. H. Cohn. *Ueber Photographiren des Auges.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. März. S. 65. — Ber. des VII. intern. Ophthalm. Congr. zu Heidelberg S. 209.

66. S. Segal. *Ein Apparat zum Photographiren des Augengrundes.* Abhandl. d. med. Sect. d. Ges. d. Exper.-Wiss. a. d. Univ. zu Charkow f. d. Jahr 1888. Heft 2. S. 41.

1891.

67. O. Gerloff. *Ueber die Photographie des Augenhintergrundes.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. Bd. 29. S. 397—404.

1892.

68. A. E. Fick. *Einige Bemerkungen über das Photographiren des Augenhintergrundes.* Ber. über die XXI. Vers. d. Ophthalm. Ges. S. 197.

1893.

69. Th. Guilloz, *Photographie instantanée du fond de l'oeil humain.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (N. F.) V. 10 S. 285—286. — Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 465—480.

1894.

70. L. Howe. *Orthochromatic plates for photographing the interior of the human eye.* Transact. of the ophthalm. soc. of the United Kingdom. Vol. XIV. Sess. 1893 94. S. 251. London, Churchill.


---

## § 17.

## Von der Reizung des Sehnervenapparates.

nsichtlich der Litteratur über die allgemeine Lehre von den Empfindungen und der specifischen ergie der Sinnesorgane wird auf die betreffenden Zusammenstellungen in den größeren Lehr- und Handbüchern der Physiologie und Psychologie verwiesen.

### 1. Mitempfindungen.


1786.

71. L. Hoffmann. *Versuch einer Geschichte der malerischen Harmonie.* Halle.

1812.

72. G. T. L. Sachs. *Historia naturalis duorum leucothiopum auctoris ipsius et sororis ejus.* Diss. inaug. Erlangen. S 81 ff.

1824.

73. J. H. G. Schlegel. *Neue Materialien für die Staatsarzneikunde.* Meiningen. S. 98 ff.

1843.

74. Th. Gautier. La Presse. 10. Juillet 1843.

1848.

3275. Ch. A. E. Cornaz. *Des abnormités congénitals des yeux et de leurs annex* Lausanne. S. 149—150.

1849.

3276. E. Wartmann. *Deuxième Mémoire sur le Daltonisme.* Genève. S. 16.

1851.

3277. Ch. A. E. Cornaz. Ann. d'oculist. No. 1. S. 3.

1860.

3278. L. V. Marcé. *Des altérations de la sensibilité.* Thèse de Paris.

1863.

3279. Perroud. Mém. de la soc. des sc. méd. de Lyon. S. 37.

1864.

3280. Chaballier. *De la pseudochromesthésie.* Journ. de méd de Lyon. août. S. 92

1868.

3281. E. Mach. *Ueber die Abhängigkeit der Netzhautstellen von einander.* Prag. B S. 10—11.

1872.

3282. Dvořák. *Ueber eine Anwendung des Gesetzes der gegenseitigen Einwirkung bena barter Netzhautstellen.* Prag. Ber. (1.) S. 73—74.

1878.

3283. F. A. Nussbaumer. *Ueber subjective Farbenempfindungen, die durch objective Geh empfindungen erzeugt werden.* Wien. med. Wochenschr. No. 1—3.

1879.

3284. Appia. *De la corrélation physiologique entre les cinq sens et de leurs rapports a les mouvements volontaires. Application à l'éducation des aveugles.* Paris. Imp merie Nation.

1881.

3285. E. Bleuler und K. Lehmann. *Zwangsmäfsige Lichtempfindungen durch Schall u verwandte Erscheinungen auf dem Gebiete der anderen Sinnesempfindungen.* Leipz Fries. 96 S.

3286. H. Kaiser. *Association der Worte mit Farben.* Arch. f. Augenheilkde. I S. 96.

3287. Schenkl. *Casuistischer Beitrag zur Association der Worte mit Farben.* Prag. me Wochenschr. VI. 48. S. 473.

1882.

3288. E. Aglave. *De l'audition des couleurs.* Assoc. franç. par l'avanc. d. sc. Aug Rec. d'Ophtalm. S. 571.

3289. G. Mayerhausen. *Ueber Association der Klänge speciell der Worte mit Far* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XX. S. 383.

3290. Pedrono. *De l'audition colorée.* Ann. d'Oculist. 88. S. 224.

3291. Urbantschitsch. *Ueber den Einflufs der Erkrankungen des äufseren und mittle Ohres auf die Sinnesempfindungen, insbesondere auf den Gesichtssinn.* Wi med. Bl. No. 42.

1883.

3292. H. Kaiser. *Association der Worte mit Farben.* Memorab. XXVII. S. 524.

3293. F. Lussana. *Sur l'audition colorée.* Arch. Ital. de Biol. IV. S. 289.

3294. Schenkl. *Ueber Association der Worte mit Farben.* Prag. med. Wochensc No. 10 u. 11.

3295. V. Urbantschitsch. *Ueber die Wechselwirkungen der innerhalb eines Sinnesgebi gesetzten Erregungen.* Pflüger's Arch. XXXI. S. 280.

1884.

3296. R. Hilbert. *Ueber Association von Geschmacks- und Geruchsempfindungen mit Far und Association von Klängen mit Formvorstellungen.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilk S. 1.

3297. F. Lussana. *Sull' udizione colorata.* Arch. ital. per le malatti neurose. X 5 Sett.

1885.

3298. J. de Briale. *La musique des couleurs.* La Nature. XIII. 2. S. 343.

3299. A. Charpentier. *Sur les connexions fonctionelles des deux rétines.* Compt. Ren de la Soc. de Biol. II. S. 364.

00. GIRANDEAU. *De l'audition colorée.* L'Encéphale. No. 5.
01. PFLÜGER. *Ueber Erregungen und Miterregungen im Bereiche homonymer Gesichtsfeldbezirke.* Tagebl. d. LVIII. Vers. dtsch. Naturf. u. Ärzte in Strafsburg. S. 257.
02. A. DE ROCHAS. *L'audition colorée.* La Nature. XIII. 1. S. 306, 406. XIII. 2. S. 274.

**1886.**

03. A. SCHIELE. *Ueber Miterregungen im Bereiche homonymer Gesichtsfeldbezirke.* Arch. f. Augenheilkde. XVI. S. 145.

**1887.**

04. A. SCHIELE. *On co-excitation in the regions of homonymous visual fields.* Englisch von H. Knapp. Arch. Ophthalm. New York. XVI. S. 317.
05. SCHMIDT-RIMPLER. *Ueber den Einflufs peripherer Netzhautreizung auf das centrale Sehen.* Ber. d. XIX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 76.
06. H. STEINBRÜGGE. *Ueber secundäre Sinnesempfindungen.* Akademische Antrittsrede. Wiesbaden, J. F. Bergmann.
07. URBANTSCHITSCH. *Ueber den Einflufs einer Sinneserregung auf die übrigen Sinnesempfindungen.* Berl. klin. Wochenschr. S. 1025.

**1888.**

08. BARATOUX. *L'audition colorée.* Paris, Delahaye et Lecrosnier.
09. A. CHARPENTIER. *Influence de l'excitation d'un oeil sur l'acuité visuelle de l'autre.* Compt. Rend. de la Soc de Biol. V. S. 15.
10. P. GRÜTZNER. *Ueber den Einflufs einer Sinneserregung auf die übrigen Sinnesempfindungen.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 44.
11. LAURET und DUCHAUSSOY. *Un cas héréditaire d'audition colorée.* Bull. de la Soc. de psychol. physiol. III. S. 11.
12. V. URBANTSCHITSCH. *Ueber den Einflufs einer Sinneserregung auf die übrigen Sinnesempfindungen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLIII. S. 3.

**1889.**

13. P. ALBERTONI. *Ueber Beziehungen zwischen Farben und Tonen.* Centralbl. f. Physiol. S. 345—347.
14. R. RAMPOLDI. *Sui rapporti fisiologici che esistono tragli apparati della vista e dell' udito.* Ann. di Ottalm. XVIII. S. 163.

**1890.**

15. F. SUAREZ DE MENDOZA. *L'audition coloré. Etude sur les fausses sensations secondaires physiologiques et particulièrement sur les pseudo-sensations des couleurs associées aux perceptions objectives des sons.* Paris. Octave Doin. 164 p. et 13 tableaux.
16. A. J. G. WAHLSTEDT. *Zwei Fälle von Farbenhoren.* Verhandl. des biologischen Vereins in Stockholm. III.

**1891.**

17. A. CHAUVEAU. *Sur les sensations chromatiques excitées dans l'un des deux yeux par la lumière colorée qui éclaire la rétine de l'autre oeil.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. CXIII. S. 394—398.
18. CH. FÉRÉ. *Gustation et vision coloré.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 33. S. 769.
19. P. SOLLIER. *Gustation colorée.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 32. S. 763 bis 764.

**1892.**

20. H. BEAUNIS et A. BINET. *Sur deux cas d'audition colorée.* Rev. philos. Bd 33. S. 448—461.
21. A. BINET. *Le problème de l'audition colorée.* Rev. des Deux Mondes. Tome 113. S. 586—614.
22. A. BINET et PHILIPPE. *Etude sur un nouveau cas d'audition colorée.* Rev. philos. Bd. 33. S. 461—464.
23. TH. FLOURNOY. *Enquête sur l'audition colorée.* Arch. d. Sc. physiol. et natur. Bd. 28. S. 505—508.
24. W. O. KROHN. *Pseudo-Chromesthesia, or the association of colors with words, letters and sounds.* Americ. Journ. of Psychol. V. S. 20—41.
25. J. MILLET. *Audition colorée.* Paris. Doin. 81 S.
26. E. B. TITCHENER. *Ueber binoculare Wirkungen monocularer Reize.* Diss. Leipzig. 80 S. — Wundt's Philos. Stud. VIII 2. S. 231—310.

**1893.**

3327. GROENOUW. *Giebt es eine Miterregung im Bereiche homonymer Gesichtsfeld wie sie Schiele beschrieben hat?* Arch. f. Augenheilkde. XXVII. S. 112—1

**1894.**

3328. A. E. FICK. *Ueber die Frage, ob zwischen den Netzhäuten eines Augenpaa sympathischer Zusammenhang besteht.* Vierteljahrsschr. d. naturf. Ges. in Jahrg. XL.

## 2. Mechanische Reizung.

**1706.**

3329. J. NEWTON. *Optice. Quaestio XVI.*

**1774.**

3330. EICHEL. *Experimenta circa sensum videndi.* Collectan. soc. med. Havniei

**1797.**

3331. A. v. HUMBOLDT. *Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser.* II. 4

**1801.**

3332. TH. YOUNG. *On the mechanism of the eye.* Phil. Transact. I. 23.

**1819.**

3333. *PURKINJE. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* I. 78. 12

**1825.**

3334. MAGENDIE. Journ. de Physiol. IV. 180. V. 189.
3335. PURKINJE. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* II. S. 11

**1826.**

3336. J. MÜLLER. *Ueber die phantastischen Gesichtserscheinungen.* Coblenz. S. 30.

**1832.**

3337. D. BREWSTER. Pogg. Annal. XXVI. 156. — Philos. Mag. I. 56.

**1833.**

3338. SEILER. Henke's Zeitschrift f. gerichtl. Med. 4. Quartal. S. 266.

**1834.**

3339. LINCKE. *De fungo medullari.* Lipsiae.
3340. QUETELET. Pogg. Ann. XXXI. 494.
3341. J. MÜLLER in seinem Arch. für Anat. und Physiol. S. 140.

**1840.**

3342. TOURTUAL in J. Müller's Handbuch der Physiologie. II. 259.

**1850.**

3343. SERRES D'UZÈS. *Du phosphène.* Compt. Rend. XXXI. 375—378.

**1854 und 55.**

3344. *CZERMAK. *Physiologische Studien.* Abth. I. § 5. S. 42 und Abth. II. S. 32. — Sitzgs.-Ber. XII. S. 322 und XV. S. 454.

**1856.**

3345. A. E. LAIBLIN. *Die Wahrnehmung der Choroidealgefäſse des eigenen Auges.* I Tübingen.
3346. MEISSNER. *Bericht über die Fortschritte der Physiologie im Jahre 1856.* S. Henle's Zeitschr. f. ration. Med.

**1858.**

3347. J. CZERMAK. *Ueber das Accommodationsphosphen.* Wien. Ber. XXVII. S. 7 Arch. f. Ophthalm. VII. (1.) S. 147—154.

**1863.**

3348. R. SCHELSKE. *Ueber Farbenempfindungen.* Arch. f. Ophthalm. IX. (3.) S. 3

**1864.**

3349. H. AUBERT. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau. S. 333—390.
3350. A. FICK. *Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Sinnesorgane.* S. 270.

**1870.**

3351. V. SZOKALSKI. *Phosphene besonderer Art.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. VIII

**1874.**

3352. E. BERLIN. *Ueber das Accommodationsphosphen.* Arch. f. Ophthalm. XX (1
3353. REICH. *Ueber einige subjective Erscheinungen bei gesteigertem intraocularen* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 238.

**1878.**

154. S. Exner. *Zur Kenntniſs von der Regeneration in der Netzhaut.* Pflüger's Arch. 16. S. 407. — Dtsch. Zeitschr. f. prakt. Med. No. 10.

155. W. Kühne. *Beobachtung über Druckblindheit.* Unters. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. Bd. II. S. 46—58.

**1879.**

156. S. Exner. *Weitere Untersuchungen über die Regeneration in der Netzhaut und über Druckblindheit.* Arch. f. d. ges. Physiol. XX. S. 614—626.

**1881.**

157 H. Schmidt-Rimpler. *Ueber die specifische Reaction der Sehnerven auf mechanische Reize.* Sitzgs-Ber. d. Ges. z. Bef. d. ges. Naturwiss. No. 4. S. 46—48.

**1882.**

158. H Schmidt-Rimpler. *Zur specifischen Reaction der Sehnerven auf mechanische Reize.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XX. S. 1.

**1883.**

159. Landesberg. *Is the mechanical irritation of the optic nerve always followed by a sensation of light?* Med. Bull. Phil. 1882/83. XIII. S. 359.

**1884.**

160. Landesberg. *Bewirkt die mechanische Reizung des Sehnervenstammes die Auslösung einer Lichtempfindung?* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 7.

**1885.**

161. W. Filehne. *Ueber die Entstehungsart des Lichtstaubes, der Starrblindheit und der Nachbilder.* Gräfe's Arch. XXXI. (2.) 1—30.

**1886.**

162. C. Günther. *Subjective Gesichtserscheinung des elliptischen Lichtstreifens.* Tagebl. d. LIX. Vers. dtsch. Naturf u. Aerzte in Berlin. S. 417.

**1887.**

163. C. Günther. *Ueber die subjective Gesichtserscheinung der elliptischen Lichtstreifen.* Dtsch. med. Wochenschr. No 19. S. 400.

**1889.**

164. Koller. *Experimental Scotoma by pressure on the eyeball.* Arch. of Ophthalm. XVII. 2.

**1891.**

165. J. W. Park. *Subjective light sensations following enucleation of the eyeball.* Arch. of Ophthalm. July. — Supplement to the Brit med. Journ. No. 1601. September 5.

166. S. L. Ssegal. *Ueber die Phosphene im Auge an der Berührungsstelle.* Westnik Oftalmologii. März-April.


## 3. Elektrische Reizung.


**1755.**

167. Le Roy. Mém. de Mathém. de l'Acad. de France. S. 86—92.

**1793.**

168. Pfaff. *De electricitate sic dicta animale.* Stuttgart. Diss. Deutsch in Gren's Journal der Physik. VIII. S. 252. 253.

**1795.**

169. Pfaff. *Ueber thierische Electricität und Reizbarkeit.* Leipzig. S. 142.

**1798.**

170. Ritter. *Beweis, daſs ein beständiger Galvanismus den Lebensproceſs im Thierreiche begleite.* Weimar. S. 127

**1800.**

171. Volta. *Colezione dell' Opere.* II. 2. S. 124.

172. Ritter. *Beiträge zur näheren Kenntniſs des Galvanismus.* Bd. II. St. 3. 4. S. 159. 166 § 93.

**1801.**

173. *Ritter. *Versuche und Bemerkungen über den Galvanismus.* Gilbert's Ann. VII. S. 448.

**1805.**

174. Ritter. *Neue Versuche und Bemerkungen über den Galvanismus.* Gilbert's Ann. XIX. S. 6—8.

**1819.**

3375. Purkinje. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* Bd. 1. Pr S. 50.

**1823.**

3376. Most. *Ueber die großen Heilkräfte des in unseren Tagen mit Unrecht vernachlässigten Galvanismus.* Lüneburg. S. 812.

**1825.**

3377. Purkinje. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* II. S. Berlin. — Kastner's Arch. f. d. ges. Naturlehre. V. S. 434.

**1829.**

3378. G. Th. Fechner. *Lehrbuch des Galvanismus und der Electrochemie.* Kap. 39. S. 485

**1830.**

3379. Hjort. *De Functione retinae nervosae.* Part. II. Christiania. (Diss.) S. 31. § 1

**1848.**

3380. E. du Bois-Reymond. *Untersuchungen über thierische Electricität.* I. S. 283–2 338—358.

**1872.**

3381. Rosenthal. *Einwirkung des electrischen Stromes auf die Centren der Sinnesorgane und die Haut.* Allg. Wien. med. Ztg. No. 27 u. 28.

**1874.**

3382. H. Schliephake. *Beiträge zur Kenntniſs der Einwirkung des galvanischen Stromes auf das menschliche Auge. (Wirkung der Santoninvergiftung auf den Einfluſs des galvanischen Stromes.)* Pflüger's Arch. f. Physiol. VIII. S. 565.

**1880.**

3383. B. Tscherbatscheff. *Ueber die Wirkung des constanten Stromes auf das normale Auge.* Diss. Bern.

**1884.**

3384. C. Emery. *Un phosphène électrique normal.* Arch. Ital. de Biol. V. S. 325.

**1885.**

3385. W. Ehrhardt. *Ueber den Einfluſs elektrischer Ströme auf das Gesichtsfeld.* Diss. München. Centralbl. f. d. med. Wiss. 1886. No. 10.

**1888.**

3386. d'Arsonval. *Surdité consécutive à l'action de la lumière électrique sur la rétine.* Soc. de Biol. 23. Juni.

**1889.**

3387. O. Schwarz. *Ueber die Wirkung des constanten Stromes auf das normale Auge.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. Bd. XXI. S. 500.

**1892.**

3388. G. Grijns. *Bijdrage tot de physiologie van den nervus opticus.* Onderz. Physiol. Labor. Utrecht. IV. Reeks. I. Deel. No. 2.

**1893.**

3389. A. Hoche. *Ueber die galvanische Reaction des Sehapparates.* Vortr. auf XVII. Wandervers. d. Neurol. zu Baden-Baden. 1892.

**1894.**

3390. L. O. Finkelstein. *Ueber optische Phänome bei electrischer Reizung des Sehapparates.* Arch. f. Psychiatr. XXVI. S. 867—885.

# § 18.

# Von der Reizung durch Licht.

## 1. Blinder Fleck und Ort der lichtempfindlichen Schicht.


**1668.**

3391. MARIOTTE. *Oeuvres*. S. 496—546; ferner in *Mém. de l'Acad. de Paris 1669 et 1682*. Philos. Transact. II. S. 668. Acta Eruditorum. 1683. S. 68.

**1670.**

3392. PECQUET. Philos. Transact. XIII. S. 171.
3393. PERRAULT. Philos. Transact. XIII. S. 265.

**1694.**

3394. DE LA HIRE. *Accidens de la vue*.

**1704.**

3395. MERY. Hist. de l'Acad. de Paris.

**1709.**

3396. DE LA HIRE. *Explication de quelques faits d'optique et de la manière dont se fait la vision*. Hist. de l'Acad. de Paris. S. 119.

**1711.**

3397. DE LA HIRE. Hist. de l'Acad. de Paris. S. 102.

**1728.**

3398. D. BERNOUILLI. *Experimenta circum nervum opticum*. Comment. Petropol. vet. I. S. 314.

**1738.**

3399. SMITH. *Optics*. Cambridge. Remarks. S. 6. Dtsch. Ausg. S. 367.

**1740.**

3400. LE CAT. *Traité des sens*. Rouen. S. 171, 176—180.

**1755.**

3401. ZINN. *Descriptio oculi humani*. S. 37.

**1757.**

3402. A. HALLER. *Physiologia*. V. S. 357, 474.

**1759.**

3403. PORTERFIELD. *On the eye*. II. S. 252, 254.

**1772.**

3404. MICHELL. *Priestley's Geschichte der Optik*. 4. Per. 5. Abth. 2. Kap. (Dtsch. Ausg. S. 149)

**1819.**

3405. PURKINJE. *Beobachtungen und Versuche*. I. S. 70 u. 83.

**1835.**

3406. D. BREWSTER. Pogg. Ann. XXIX. S. 339.
3407. G. R. TREVIRANUS. *Beiträge zur Aufklärung der Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens*. Bremen.

**1838.**

3408. GRIFFIN. *Contributions to the physiology of vision*. London med. gaz. Mai. S. 230.

**1840.**

3409. J. MÜLLER. *Handbuch der Physiologie*. II. S. 370.

**1844.**

3410. VALENTIN. *Lehrbuch der Physiologie*. 1. Ausg. II. S. 444.

**1846.**

3411. A. W. VOLKMANN. Art.: *Sehen* in Wagner's Handwörterb. d. Physiol. III. S. 272.

**1850.**

3412. A. HANNOVER. *Bidrag til Ojets Anatomie, Physiologie og Pathologie*. Kjöbenhavn. VI. S. 61.

**1851.**

3413. H. HELMHOLTZ. *Beschreibung eines Augenspiegels*. Berlin. S. 39.

**1852.**

3414. E. H. Weber. *Ueber den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge.* Verh. d. Leipz. Ges. S. 138.
3415. A. Koelliker. *Zur Anatomie und Physiologie der Retina.* Verh. d. phys.-med. Ges. zu Würzburg. 3. Juli.
3416. F. C. Donders. Onderzoekingen gedaan in het physiol. Laborat. d. Utrecht'sche Hoegeschool. VI. S. 134.

**1853.**

3417. D. Brewster. *Account of a case of vision without retina.* Rep. of the British Assoc. at Belfast. S. 3.
3418. A. Fick und P. du Bois-Reymond. *Ueber die unempfindliche Stelle der Netzhaut im menschlichen Auge.* J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 396.
3419. A. Coccius. *Die Anwendung des Augenspiegels.* Leipzig. S. 20.
3420. A. W. Volkmann. *Ueber einige Gesichtsphänomene, welche mit dem Vorhandensein eines unempfindlichen Fleckes im Auge zusammenhängen.* Ber. d. Leipz. Ges. d. Wiss. S. 27.

**1854.**

3421. C. Bergmann. *Zur Kenntniſs des gelben Flecks der Netzhaut.* Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. (2.) S. 245—252.
3422. J. Czermak. *Ueber die unempfindliche Stelle der Retina im menschlichen Auge.* Wien. Ber. XII. S. 360.

**1855.**

3423. J. Budge. *Beobachtungen über die blinde Stelle der Netzhaut.* Verh. d. naturhist. Vereins d. Rheinlande. S. XLI.
3424. J. Czermak. *Ueber die unempfindliche Stelle der Retina im menschlichen Auge.* Wien. Ber. XV. S. 454.
3425. H. Müller. Verh. d. phys. med. Ges. zu Würzburg. IV. S. 100. V. S. 411—446.

**1856.**

3426. *H. Müller. *Anatomisch physiologische Untersuchungen über die Retina bei Menschen und Thieren.* Siebold u. Kölliker's Zeitschr. f. wiss. Zool. VIII. S. 1—122.

**1857.**

3427. H. Aubert und Förster. *Ueber den blinden Fleck und die scharfsehende Stelle im Auge.* Berl. allg. med. Centralztg. No. 33. S. 259 u. 260.

**1859.**

3428. A. Coccius. *Ueber Glaukom, Entzündung und die Autopsie mit dem Augenspiegel.* Leipzig. S. 40 u. 52.
3429. E. Wiesener. *De macula Mariottiana.*

**1860.**

3430. G. Braun. *Notiz zur Anatomie der Stäbchenschicht der Netzhaut.* Wien. Ber. XLII. S. 15—19.
3431. G. M. Cavallieri. *Sul punto cieco dell' occhio.* Atti dell' Istit. Lomb. II. S. 89 bis 91.

**1861.**

3432. H. Müller. *Bemerkungen über die Zapfen am gelben Fleck des Menschen.* Würzb. Zeitschr. f. Naturkde. II. S. 218—221.

**1862.**

3433. A. W. Volkmann. *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.* Heft I. S. 65. Leipzig.

**1863.**

3434. Wittich. *Studien über den blinden Fleck.* Arch. f. Ophthalm. IX. 3. S. 1—38.

**1864.**

3435. W. Zehender. *Historische Notiz zur Lehre vom blinden Fleck.* Arch. f. Ophthalm. X. (1.) S. 152—155.

**1866.**

3436. O. Funke. *Zur Lehre vom blinden Fleck.* Freib. Ber. III. 3. S. 1—15.

**1867.**

3437. Giraud-Teulon. *Instrument zur Messung der Sehnerven-Papille.* Klin. Mon.-Bl. V. S. 297.

**1869.**

3438. M. Woinow. *Ueber das Sehen mit dem blinden Fleck und seiner Umgebung.* Arch. f. Ophthalm. XV. (2.) S. 155—166.

**1871.**

3439. W. Dobrowolsky. *Ueber den Abstand zwischen Fovea centralis und dem Centrum des blinden Fleckes in Augen von verschiedener Refraction.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 437—453.

3440. Dubrunfaut. *Sur quelques particularités des perceptions visuelles objectives et subjectives.* Mondes XXVI. S. 77 — Compt. Rend. Bd. 73. S. 752.

3341. — *Vision.* Institut S. 102.

3442. E. Landolt. *Die directe Entfernung zwischen Macula lutea und Nervus opticus.* Med. Centralbl. 45.

**1872.**

3443. E. Landolt. *La distanza diretta tra la macula lutea e la papilla del nervo ottico.* Giorn. d'ottalmologia del Prof. Quaglino. II. 1. S. 1.

**1883.**

3444. S. Exner. *Die mangelhafte Erregbarkeit der Netzhaut für Licht von abnormer Einfallsrichtung.* Wien. Akad. Ber. 88. III. Heft. — Exner's Rep. d. Physik. S. 233—237.

3445. Stricker. *Ueber die lichtempfindenden Apparate der Retina.* Sitzg. d. k. k. Ges. d. Aerzte in Wien. 30. März 1883. Wien. Med. Presse, No. 14.

**1884.**

3446. W. Dobrowolsky. *Ueber den Unterschied in der Farbenempfindung bei Reizung der Netzhaut an einer und an mehreren Stellen zu gleicher Zeit.* Pflüg. Arch. f. Physiol. XXXV. S. 537—541. — St. Petersb med. Woch.-Schr. S. 398.

**1885.**

3447. Schleich. *Untersuchungen über die Größe des blinden Fleckes und seine räumlichen Beziehungen zum Fixationspunkte.* Mitth. a. d. ophthalm. Klin. in Tübingen. II. S. 181.

**1886.**

3448. S. Exner. *Ueber die Functionsweise der Netzhautperipherie und den Sitz der Nachbilder.* Graefe's Arch. f. Ophth. XXXII (1). S. 233—252.

**1890.**

3449. V. Basevi. *Ueber die directe Entfernung der negativen physiologischen Scotome von dem Fixirpunkt und dem Mariotte'schen Fleck.* Arch. f. Augenheilkde. XXXII. S. 1—10.

**1892.**

3450. M. Botto. *Recherches sur la position et l'étendue de la tache de Mariotte dans les yeux myopes.* Actes du congr. ophthalm. de Palermo. — Ann. d'ophthalm. XXII. 1.

**1893.**

3451. M. Botto. *Ricerche sulla posizione ed estensione della regione cieca dell Mariotte negli occhi miopi.* Ann. di Ottalm. XXII. S. 42.

**1894.**

3452. J. Gad. *Der Energieumsatz in der Retina.* du Bois' Arch. f. Physiol. S. 491—503.

3453. A. König u. J. Zumft. *Ueber die lichtempfindliche Schicht in der Netzhaut des menschlichen Auges.* Sitzgs. Ber. d. Akad d. Wiss. zu Berlin S. 439—442.


## 2. Vorgänge in der Netzhaut und in dem Sehnerven bei einfallendem Lichte. — Sehpurpur.


**1865.**

3454. Fr. Holmgren. *Methode, um die Wirkung von Lichteindrucken auf die Retina objektiv kenntlich zu machen.* Upsala Läkaref. Förh. I. S. 177—191.

**1870.**

3455. V. Bravais. *Du rôle de la choroïde dans la vision.* Acad imp de Méd. 4. Jan. Gaz. des hôp. S. 6.

**1871.**

3456. F. Holmgren. *Om retinaströmmen. (Ueber die Retinaströme.)* Upsala Läkaref. Förh. VI. S. 419—455.

**1872.**

3457. S. Exner. *Ueber den Erregungsvorgang im Sehnervenapparat.* Wien. acad. Ber. 65. 3. S. 59—70.

3458. TAIT. *Note on a singular property of the retina.* Proc. of the Roy. Soc. of Edinb. VII. S. 605—607.

1873.

3459. J. DEWAR u. J. MAC KENDRICK. *The physiological action of light.* Journ. of Anat. and Physiol. XII. S. 275—285.

1874.

3460. J. DEWAR and J. MAC KENDRICK. *On the physiological action of light.* Part I. Edinburgh.

1875.

3461. M. DUVAL. *Sur l'action physiologique de la lumière.* Mondes (2.) XXXVII. S. 324—335.
3462. J. DEWAR. *L'action physiologique de la lumière.* Rev. Scientif. V^e année. 2^e série. S. 516—520.

1876.

3463. F. BOLL. *Zur Anatomie und Physiologie der Retina.* Berl. Ber. 23. Novbr.

1877.

3464. H. ADLER. *Mittheilungen über das Vorkommen des Sehroth (Sehpurpur) im Menschenauge.* Wien. med. Presse. XVIII. S. 950—952.
3465. — *Beobachtungen über das Vorkommen von Sehpurpur am kranken und verletzten Menschenauge.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 14. S. 242—245.
3466. O. BECKER. *Ueber die ophthalmoskopische Sichtbarkeit des Sehroth.* Ber. d. Heidelb. Ophthalm. Congr.
3467. F. BOLL. *Zur Physiologie des Sehens und der Farbenempfindung.* Berl. Ber. 11. Jan. u. 15. Febr. — Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 23.
3468. — *Zur Anatomie und Physiologie der Netzhaut.* Du Bois - Reymond's Arch. f. Physiol. S. 3. — Memorie della Acad. dei Lincei. 4. S. 25. In französ. Uebersetzung. Ann. d'Oculist. LXXVII. S. 221—263.
3469. — *Sull' anatomia e fisiologia della retina.* C. tav. color. Firenze.
3470. ST. CAPRANICA. *Physiologisch-chemische Untersuchungen über die farbigen Substanzen der Retina.* Du Bois' Arch. f. Physiol. S. 282—296.
3471. A. CHODIN. *Ueber die chemische Reaction der Netzhaut und des Sehnerven.* Wien. Ber. 19. Juli. — Milit.-med. Monatsschr. December.
3472. — *Ueber die Veränderungen der Retina unter dem Einflusse des Lichts.* Med. Bote. No. 50—51.
3473. A. COCCIUS. *Diagnose des Sehroth am Lebenden.* Univ.-Progr. 3. Juni. Leipzig.
3474. J. DEWAR. *L'action physiologique de la lumière. 2^e partie.* Rev. Scientif. (2.) XII. S. 1245—1251.
3475. DIETL u. PLENK. *Ueber den Sehpurpur.* Mitth. a. d. med.-naturwiss. Ver. zu Innsbruck. 7. Februar.
3476. — *Untersuchungen über die Wahrnehmbarkeit des Sehpurpurs (Sehroth) mit dem Ophthalmoskope.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XV. No. 16. S. 277.
3477. A. EWALD. *Ueber Optographie und die dazu erforderlichen Apparate.* Beil. z. klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 105—109.
3478. A. EWALD u. W. KÜHNE. *Untersuchungen über den Sehpurpur.* Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 138—218. S. 248—290. S. 370—422.
3479. S. EXNER. *Ueber den Sehpurpur.* Wien. med. Wochenschr. No. 8.
3480. E. FUCHS. *Zur Farbe der Netzhaut.* Wien. med. Wochenschr. No. 10. S. 221.
3481. HELFREICH. *Ophthalmoskopische Mittheilungen über den Purpur der Retina.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XV. S. 113—115.
3482. HORNER. *Ueber Sehroth.* Centralbl. f. Augenkeilkde. Sept.-Hft. Beil.
3483. L. KÖNIGSTEIN. *Ueber den Sehpurpur.* Wien. med. Presse. XVIII. No. 12.
3484. — *Ueber Sehpurpur und dessen Diagnose mit dem Augenspiegel.* Wien. med. Presse XVIII. No. 18.
3485. W. KÜHNE. *Ueber den Sehpurpur.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 11.
3486. — *Ueber den Sehpurpur.* Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 15—105.
3487. — *Ueber das Vorkommen des Sehpurpurs.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XV. S. 257.
3488. — *Ueber die Verbreitung des Sehpurpurs im menschlichen Auge.* Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 105—108.
3489. — *Weitere Beobachtungen über den Sehpurpur des Menschen.* Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 109—113.

3490. W. KÜHNE. *Das Sehen ohne Sehpurpur.* Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 119—138.
3491. — *Les colorations de la rétine et la photographie dans l'oeil.* Rev. Scient. VI. (2.) S 841—845.
3492. — *Zur Photochemie der Netzhaut.* Heidelberg, C. Winter. — Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 1—15.
3493. — *Optographische Untersuchungen.* Centralbl f. d. med. Wiss. 20. u. 27. Jan.
3494. — *Ueber die Darstellung von Optogrammen im Froschauge.* Unters. d. physiol. Inst. d Univ. Heidelberg I. S. 225—241.
3495. W. KÜHNE u. A. EWALD. *Ueber künstliche Bildung des Sehpurpurs.* Med. Centralbl. XV. S. 753.
3496. F. LEYDIG. *Die Farbe der Retina und das Leuchten der Augen.* Arch. f. Naturg. XLIII. S. 121—126.
3497. J. MICHEL. *Zur Kenntnifs des Sehroths.* Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 432.
3498. H. SCHMIDT-RIMPLER. *Sehroth bei einem Amaurotischen und Bemerkungen über die ophthalmoskopische Farbe der Macula und des Augenhintergrundes.* Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 400—401.
3499. — *Zur Lichtempfindung an der Stelle des congenitalen Chorioideal-Colombom.* Gräfe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (4.) S. 176—179.
3500. J. SCHNABEL. *Notiz zur Lehre vom Sehpurpur.* Wien. med. Wochenschr. S. 258—259.
3501. *Sur la coloration rouge de la rétine.* Ann. d'Oculist. LXXVII. S. 77—81; 202—211.
3502. *Coloration pourprée de la rétine d'après Mssrs. Boll et Kühne.* Journ. de l'anat. et de physiol. XIII. S. 313—320.

1878.

3503. AYRES u. KÜHNE. *Ueber Regeneration des Sehpurpurs.* Unters. a. d. physiol. Inst. zu Heidelberg. II. S. 215—240.
3504. S. EXNER. *Zur Kenntnifs von der Regeneration in der Netzhaut.* Pflüg. Arch. XVI. S. 407.
3505. GIRAUD-TEULON. *Fixation des images sur la rétine et pourpre rétinien.* Bull. de l'Acad. de méd. No. 32. — Arch. génér. Oct.
3506. — *Sur la persistance des images sur la rétine. Rapport concernant les expériences relatives au pourpre de la rétine.* Mondes 2 Sér. XLVI. S. 707.
3507. G. HALTENHOFF. *Resumé des travaux publiés sur le pourpre visuel.* Arch. d. Sc. physiol. et natur. de Genève. LXI.
3508. V. HENSEN. *Ueber Sehpurpur bei Mollusken.* Zool. Anz. I No. 2. S. 30.
3509. HJORT. *Ueber den Sehpurpur.* Norsk Mag. 3 R. VIII. 1 Forh. S. 205.
3510. F. HOLMGREN. *Ueber Sehpurpur und Retinaströme.* Heidelb. physiol. Unters. II. Heft 1.
3511. — *Ueber Sehpurpur und Retinaströme.* Upsala Läkaref Förh. S 666—673.
3512. W. KÜHNE. *Fortgesetzte Untersuchungen über die Retina und die Pigmente des Auges.* Heidelb. Unters. II. S. 89—105 und S. 105—133.
3513. — *Beobachtungen an der frischen Netzhaut des Menschen.* Heidelb. Unters. II. S. 69—80.
3514 — *On the Photochemistry of the Retina and on visual Purple.* Aus d Deutschen übers. von FOERSTER. London, Macmillan & Co.
3515. — *Notizen zur Anatomie und Physiologie der Netzhaut. (Macula lutea und fovea centralis.)* Heidelb. physiol. Unters II. S. 378—384.
3516. — *Sur le pourpre visuel.* Uebers. von DUFOUR. Ann. d'Oculist. Bd 79. S 32—46.
3517. — *Addition to the Article: „On the Stable Colours of the Retina."* Journ. of Physiol I. (2.) S. 189—192.
3518. — *Nachträge zu den Abhandlungen über den Sehpurpur.* Heidelb. physiol. Unters. I. S. 455—470.
3519 — *Notiz über die Netzhaut der Eule.* Heidelb physiol. Unters. II. S. 257—259.
3520. — *Zur Abwehr einiger Irrthümer über das Verhalten des Sehpurpurs.* Heidelb. physiol. Unters II. S. 254—257
3521. W. KÜHNE u. W. C. AYRES. *Ueber lichtbeständige Farben der Netzhaut.* Heidelb physiol. Unters. I. S. 341—369 — Englisch von Dr. AYRES in Journ. of Physiol. I. 2. 109—130
3522. F. W. KRUKENBERG *Der Stäbchenpurpur des Cephalopodenauges.* Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I
3523. — *Ueber die Stäbchenfarbe der Cephalopoden.* Heidelb Unters. II. S. 58—61.
3524. MASOIN. *L'oeil comme appareil photographique.* Louvain
3525 TIXIER *Ueber Fixirung von Bildern auf der Netzhaut* Bull de l'Acad. August.

**1879.**

3526. W. C. Ayres. *Zum chemischen Verhalten des Sehpurpurs.* Heidelb. Unters. II. S. 444—447.
3527. M. H. Beauregard. *Contribution à l'étude du rouge rétinien.* Journ. de l'Anat. et de la Physiol. XV. (2.) S. 161—174.
3528. Bouchardt. *La lumière et son action sur l'oeil.* Arch. d'Ophthalm. Bd. 82. S. 104. — Rev. Scient. IX. (2). No. 7. S. 145—150.
3529. Chittenden. *Beiträge zur Histochemie des Sehepithels.* Unters. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. II. S. 437—443.
3530. Dränert. *Der Sehpurpur.* Westermann's Monatsh. Juni. S. 379.
3531. S. Exner. *Weitere Untersuchungen über die Regeneration in der Netzhaut und über Druckblindheit.* Arch. f. d. ges. Physiol. XX. S. 614—626.
3532. O. Haab *Der Sehpurpur und seine Beziehungen zum Sehact.* Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzte. IX.
3533. — *Die Farbe der Macula lutea und die entoptische Wahrnehmung des Sehpurpurs.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XVII. October.
3534. Heuse. *Ueber Sehroth und Sehpurpur.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 29.
3535. Fr. Holmgren. *Ueber die Retinaströme.* Heidelberger physiol. Unters. III.
3536. W. Kühne. *Chemische Vorgänge in der Netzhaut.* Handb. d. Physiol. von L. Hermann. III. (1.) S. 235—342.
3537. — *Notiz über die Netzhautfarbe belichteter menschlicher Augen.* Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. III. S. 194—197.
3538. E. Nettleship. *Observations of Visual Purple in the Human Eye.* Journ. of Physiol. II. (1.) S. 38—41.
3539. C. Puglia. *Sulla porpora visuale; osservazioni sperimentali e note.* Ann. di Ottalm. VII. S. 568—587. — Gaz. méd. de Paris. 12. Juli.

**1880.**

3540. P. Albertoni. *Sul rosso della retina nel feto e nel neonato.* Lo Sperimentale. Juni.
3541. W. E. Ayres. *Visual Purple.* New-York. med. Journ. XXXII. S. 189.
3542. M. H. Beauregard. *Beitrag zum Studium des Retinarothes.* Journ. de l'Anat. et de la Physiol. S. 161.
3543. H. R. Bigelow. *The action of the visual purple in the Eel.* New York. Med.-Rec. XVIII. (2.) S. 37.
3544. Brigidi u. Tafani. *Sul rosso retinico.* Lo Sperimentale.
3545. Chittenden. *Notiz über die Netzhautfarbe beleuchteter menschlicher Augen.* Heidelb. physiol. Unters. III.
3546. F. Holmgren. *Ueber Retinaströme.* Upsala Läkaref. Förh. XV. S. 480—481.
3547. F. Klug. *Verhalten des Sehpurpurs gegen dunkle Wärmestrahlen.* Heidelb. physiol. Unters. III. S. 418.
3548. W. Kühne u. H. Sewall. *On the physiology of the retinal epithelium.* Journ. of Physiol. III. S. 88—92.
3549. — *Zur Physiologie des Sehepithels.* Heidelb. Unters. III. S. 221—277.
3550. W. Kühne u. J. Steiner. *Ueber das electromotorische Verhalten der Netzhaut.* Heidelb. physiol. Unters. III. S. 327.

**1881.**

3551. A. Angelucci. *Sull' azione della luce e dei colori sull' epitelio retinico.* Gaz. med. di Roma. VIII. — Ann. di Ottalm. X. 6. S. 518—528.
3552. W. C. Ayres. *The physiology of the visual purple.* New-York. med. Journ. XXXIII. 5. S. 552.
3553. — *Permanent pictures on the retina.* New-York. med. Journ. XXXIII. 3. S. 321.
3554. F. Boll. *Thesen und Hypothesen zur Licht- und Farbenempfindung.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. S. 1—38.
3555. W. Kühne u. J. Steiner. *Ueber elektrische Vorgänge im Sehorgan.* Heidelb. physiol. Unters. Bd. IV. S. 64—168.
3556. E. Landolt. *Des fonctions rétiniennes.* Arch. d'ophthalm. I. S. 193—211.
3557. Parinaud. *L'héméralopie et les fonctions du pourpre visuel.* Compt. Rend. Bd. 93. No. 5. S. 286. — Gaz. méd. de Paris. No. 34. S. 484.

**1882.**

3558. A. Angelucci. *De l'action de la lumière et des couleurs sur l'épithelium rétinien.* Ann. Soc. de méd. de Gand. LX. S. 100.

59. N. Bernardy. *Du pourpre rétinien et de sa sécrétion.* Nancy. 61 S.
60. A. Charpentier. *Nouvelles recherches sur la sensibilité de la rétine.* Arch. d'ophthalm. S. 234.
61. Chittenden. *Beiträge zur Histochemie des Sehepithels.* Heidelb. Unters. II. S. 488.
62. de Haas. *Umsetzung von Licht in Erregung zum Sehen.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 219.
63. W. Kühne. *Bemerkungen zu Herrn Hoppe-Seyler's Darstellung der Optochemie.* Heidelb. Unters. II. S. 488—492.
64. — *Beiträge zur Optochemie.* Heidelb. Unters. IV. S. 169—252.
65. — *Beobachtungen zur Anatomie und Physiologie der Retina.* Heidelb. Unters. IV. S. 280—284.
66. Morechovez. *Sur les processes photochimiques de la vision.* Moscau. Leçon pour l'agrégation. 25. Februar.

1883.

67. S. Exner. *Die mangelhafte Erregbarkeit der Netzhaut für Licht von abnormer Einfallsrichtung.* Wien. Acad. Ber. 88. III. — Exner's Rep. d. Physik.
68. Stricker. *Ueber die lichtempfindenden Apparate der Retina.* Stzgs.-Ber. d. k. k. Ges. d. Aerzte in Wien. 30. März. — Wien. med. Presse. No. 14.

1884.

69. A. Charpentier. *Nouvelles recherches analytiques sur les fonctions visuelles.* Arch. d'ophthalm. S. 291.
70. Th. W. Engelmann. *Ueber Bewegungen der Zapfen und Pigmentzellen der Netzhaut unter dem Einfluſs des Lichtes und des Nervensystems.* Pflüger's Arch. XXXV. S. 498 bis 508.
71. A. G. H. van Genderen-Stort. *De bewegingen van kegels en pigment in der retina onder den invloed van het licht.* Acad. Wetenshappen te Amsterdam Afd. Natuurk. 28. juni.
72. — *Bewegingen der kegels van het netvlies onder den invloed van licht and duister.* Akad. van Wetenschappen te Amsterdam, Afd. Natuurk. 29 maart.
73. H. Sewall. *On the physiological effects of light which enters the eye through the sclerotic coat.* Journ. of Physiol. and Anat. S. 132.

1885.

74. A. Angelucci. *Una nuova teoria sobre la vision.* Bolet. de la clin. oft. del Hospit. de Santa Cruz. No. 2. 3. 4. S. 20. 35. 54.
75. — *Une nouvelle theorie sur la vision.* Franz. von Parisotti. Rec. d. Ophthalm. S. 220.
76. E. Berthold. *Ueber die objectiv wahrnehmbaren Veränderungen der belichteten Netzhaut.* Königsberger Schriften. XXVI. S. 18—21.
77. Charpentier. *Réponse aux observations de Parinaud à propos des fonctions des éléments rétiniens.* Compt. Rend. CI. S. 976—977.
78. H. Dreser. *Zur Chemie der Netzhautstäbchen.* Zeitschr. f. Biol. XXII. S. 23.
79. P. Ehrlich. *Das Sauerstoffbedürfniſs des Organismus.* Eine farbenanalytische Studie. Berlin. 167 S.
80. Th. W. Engelmann und A. G. H. van Genderen-Stort. *Over de staafjes-en kegellaag van het netvlies der duif.* Akad. van Wetenschappen te Amsterdam, Afd. Natuurk. 28 maart.
81. Gradenigo. *Ueber den Einfluſs des Lichtes und der Wärme auf die Retina des Frosches.* Allg. Wien. med. Ztg. XXX. S. 343. 353. — Gazz. d. osp. Milano VI. S. 378. 587.
82. Parinaud. *Influence inégale de l'adaptation rétinienne sur les lumières de réfrangibilité différente; la sensibilité dans la macula et les parties périphériques; rôle du pourpre visuel.* Bull. et mém. Soc. franç. d'ophthalm. III. S. 329.
83. — *Nouvelle réplique à la réponse de Charpentier à propos des fonctions des éléments rétiniens.* Compt. Rend. CI. S. 1078.

1886.

84. A. Angelucci. *Une nouvelle theorie de la vision.* Rec. d Ophthalm. S. 34.
85. — *Una nuova theoria sulla visione.* *Terza comunicazione preventiva.* Cagliare.
86. R. Dubois. *De l'action de la lumière émise par les êtres vivants sur la rétine et sur les plaques au gelatino-bromure.* Soc. de Biol. 20. März.
87. H. Dreser. *Zur Chemie der Netzhautstäbchen.* Zeitschr. f. Biol. XXII. S. 23—39.
88. S. Exner. *Ueber die Functionsweise der Netzhautperipherie und den Sitz der Nachbilder.* Gräfe's Arch. f. Ophthalm. XXXVII. (1.) S. 9.

3589. A. G. H. van Genderen-Stort. *Ueber Form- und Ortsveränderungen der Elemen in der Sehzellenschicht nach Beleuchtung.* Ber. üb. d. XVIII. Vers. d. ophthalm. Ge Heft 2. S. 43.

3590. — *Mouvements des élements de la rétine sous l'influence de la lumière.* Arch. née XXI. 316—386. Holländisch in: Onderz. Physiol. Labor. Utrecht. III. R. X Dl.

3591. Gradenigo. *Intorno all' influenza della luce e del calore sulla retina della ra* Mitth. a. d. embryol. Inst. von Schenk.

3592. Parinaud. *Anesthésie de la rétine. Contribution à l'étude de la sensibilité visuel* Acad. roy. de Méd. de Belgique.

1887.

3593. A. Angelucci. *Une nouvelle théorie sur la vision, troisième communication.* Fran v. Parisotti. Rec. d'Ophthalm. S. 394.

3594. Emmert. *Ueber die Vorgänge in der Netzhaut beim Sehen.* Corresp.-Bl. f. Schwei Aerzte. S. 254.

3595. Fieuzal. *Les verres gris-jaunes et les mouvements des éléments rétiniens.* Bull. d la clin. nat. ophthalm. de l'hôp. des Quinze-Vingts. S. 73.

3596. A. G. H. van Genderen-Stort. *Ueber Form- und Ortsveränderungen der Netzhautelemen unter Einfluſs von Licht und Dunkel.* Gräfe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. 3 S. 229.

3597. — *Bewegingen van de elementen der retine onder den invloed van het licht.* Utrech Unters. (3.) X. S. 183—259. Arch. néerl. Bd. XXI. S. 316—386.

1888.

3598. R. M. Gunn. *On the nature of light-percipient organs and of light-perception* Ophthalm. Hosp. Report. XII. 2. S. 101.

3599. D. J. Hamburger. *Staafjesrood in monochromatisch light.* Feestbundel a. F. C. Donders Amsterdam. S. 285.

3600. — *De doorsnyding van den Nervus opticus etc. (Durchschneidung des Nervus opticus bei Fröschen, mit Bezug auf die Bewegung von Pigment und Zapfen in der Netzhau unter dem Einfluſs von Licht und Dunkel.)* Donders-Feestbundel van het Tydschr v. Geneesk. S. 264.

1889.

3601. A. Angelucci. *Recherches sur la fonction visuelle et la rétine et du cerveau.* Rec d'Ophthalm. S. 1. 201. 269. 332. 604. 660.

3602. D. Axenfeld. *Contribution à l'optique physiologique.* Arch. Ital. de Biol. XII S. 10—12.

3603. S. Exner. *Durch Licht bedingte Verschiebungen des Pigments im Insectenauge u deren physiologische Bedeutung.* Wien. Stzgs.-Ber. XCVIII. 3. S. 143—154. Auch separat Wien. Tempsky. 9 S.

3604. A. E. Fick. *Ueber Lichtwirkungen auf die Netzhaut des Frosches.* Ber. d. Ophthalm Ges. in Heidelberg. S. 177.

1890.

3605. A. Angelucci. *Recherches sur la fonction visuelle de la rétine et du cerveau.* Rec d'Ophthalm. S. 3—24.

3606. — *Untersuchungen über die Sehthätigkeit der Netzhaut.* [Aus: *Untersuchungen zur Naturlehre der Menschen und der Thiere.*] Gieſsen, Roth. S. 231—357.

3607. Arcoleo. *Osservazioni sperimentali sugli elementi contrattili della retina negli animali a sangue freddo.* Ann. di Ottalm. XIX. S. 253.

3608. A. E. Fick. *Ueber die Ursachen der Pigmentwanderung in der Netzhaut.* Vierteljahrsschr. d. naturf. Ges. in Zürich. 1.

1891.

3609. E. Beraneck u. L. Verrey. *Sur une nouvelle fonction de la Choroïde.* Bull. de la Soc. de sc. natur. de Neuchâtel. XX.

3610. A. E. Fick. *Untersuchung über die Pigmentwanderung in der Netzhaut des Frosches.* Gräfe's Arch. f. Ophthalm. XXXVII. (2.) S. 1—20.

1893.

3611. E. Gaglio. *Le modificazioni del pigmento all' oscurità ed alla luce nella retina della rana.* Arch. di Ottalm. I. S. 225.

3612. W. Nahmacher. *Ueber den Einfluſs reflectorischer und centraler Opticusreizung auf die Stellung der Zapfen in der Froschnetzhaut.* Physiol. Lab. Utrecht. II. 2. S. 184 — Pflüger's Arch. Bd. 53. S. 375—387.

**1894.**

13. Birnbacher. *Ueber eine Farbenreaction der belichteten und unbelichteten Netzhaut.* Gräfe's Arch. f. Ophthalm. XL (5.) S. 1—7.
14. S. Fuchs. *Untersuchungen über die im Gefolge der Belichtung auftretenden galvanischen Vorgänge in der Netzhaut und ihren zeitlichen Verlauf.* I. Mitth. Pflüger's Arch. Bd. 56. S. 408—468.
15. J. Gad. *Der Energieumsatz in der Retina.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. 1894. S. 491—503.
16. A. König. *Ueber den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen.* Sitz.-Ber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin. S. 577—598.
17. J. v. Kries. *Ueber den Einfluſs der Adaptation auf Licht- und Farbenempfindung und über die Function der Stäbchen.* Ber. d. naturf. Ges. zu Freiburg i. B. IX, 2. S. 61—70. — Auch sep. Freiburg i. B., Mohr. 14 S.
18. Parinaud. *La sensibilité de l'oeil aux couleurs spectrales; fonctions des éléments rétiniens et du pourpre visuel.* Ann. d'oculist. Bd. 112. S. 228.

## 3. Genauigkeit des Sehens. — Sehproben.

Hier ist auch die Litteratur zu § 11, 1, 2, 3 und 4, sowie zu 21,3 zu beachten.

**1705.**

19. R. Hooke. *Posthumous works.* S. 12 u. 97.

**1738.**

20. Smith. *Optics.* I. S. 31. (Uebersetzung S. 29.)
21. Jurin. *Essay on distinct and indistinct vision.* In Smith Optics. S. 149.

**1752.**

22. Courtivron. Hist. de l'Acad. de Paris. S. 200.

**1754.**

23. Tob. Mayer. Comment. Gotting. IV. S. 97 u. 135.

**1759.**

24. Porterfield. *On the eye.* II. S. 58.

**1824.**

25. Amici. In Ferussac bull. sc. math. S. 221.

**1829.**

26. Lehot. In Ferussac bull. sc. math. XII. S. 417.

**1830.**

27. Holke. *Disquis. de acie oculi dextri et sinistri.* Lipsiae.

**1831.**

28. Ehrenberg. Pogg. Ann. XXIV. S. 36.

**1840.**

29. Hueck. *Ueber die Grenzen des Sehvermogens* J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 82.
30. J. Muller. *Handbuch der Physiologie.* II. S. 82.

**1841.**

31. Burow. *Beitrage zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges.* Berlin. S. 38.

**1843.**

32. H. Kuchler. *Schriftnummerprobe fur Gesichtsleidende.* Darmstadt.

**1846.**

33. A. W. Volkmann. Art.: *Sehen* in Wagner's Handwörterb. d. Physiol. III. S. 331 u. 335.

**1849.**

34. Marié Davy. Institut. No. 790. S. 59.

**1850.**

35. W. Petrie. Institut. No. 886. S. 415.

**1852.**

36. E. H. Weber. *Ueber den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge.* Verhandl. d. sächs. Ges. S 145.

**1854.**

37. A. Smee. *The eye in health and disease.* London. S. 70.
38. E. Jager. *Schriftscalen.* Wien.

**1855.**

3639. STELLWAG v. CARION. *Die Accommodationsfehler des Auges.* Sitz.-Ber. d. W Akad. v. 12. April 1855.

**1857.**

3640. AUBERT u. FÖRSTER. *Beiträge zur Kenntnifs des indirecten Sehens. Ueber Raumsinn der Netzhaut.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. III. (2.) S. 1.

3641. BERGMANN. Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rat. Med. (3.) II. S. 88. — Mol Untersuch. IV. S. 16.

**1862.**

3642. H. SNELLEN. *Letterproeven tot bepaling der gezigtsscherpte.* Utrecht.

3643. — *Probebuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe.* Berlin, Peters.

3644. J. VROESOM DE HAAN. *Onderzoek naar den invloed van den leeftijd op de ge: scherpte.* Utrecht.

**1863.**

3645. GIRAUD-TEULON. *Echelle régulièrement progressive, destinée à servir à la me exacte des différents degrés de netteté et d'étendue de la vue distincte.* Paris.

3646. K. VIERORDT. *Ueber die Messung der Sehschärfe.* Arch. f. Ophthalm. IX. S. 219—

**1864.**

3647. O. FUNKE. *Zur Lehre von den Empfindungskreisen der Netzhaut.* Ber. d. na Ges. zu Freiburg i. Br. III. 2. S. 89—116.

3648. F. C. DONDERS. *Anomalies of accommodation and refraction.* London. S. 188—

**1865.**

3649. C. BERGMANN. *Können die Zäpfchen der Fovea centralis retinae Scheinheiten se* Zeitschr. f. rat. Med. (3.) XXIII. S. 145—156.

3650. V. HENSEN. *Ueber eine Einrichtung der Fovea centralis retinae, welche bezweckt, d feinere Distanzen, als solche, die dem Durchmesser eines Zapfens entsprechen, n unterschieden werden können.* Virchow's Arch. Bd. 34. S. 401.

3651. A. W. VOLKMANN. *Zur Entscheidung der Frage, ob die Zapfen der Netzhaut Raumelemente beim Sehen fungiren..* Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 395—403.

**1866.**

3652. H. DERBY. *On the necessity of employing greater accuracy in ascertaining expressing the degree of acuteness of vision.* Transact. of the Americ. Ophth Soc. New York.

3653. A. W. VOLKMANN. *Weitere Untersuchungen über die Frage, ob die Zapfen der Netzh als Raumelemente beim Sehen fungiren.* Reichert's u. Dubois' Arch. S. 649.

**1867.**

3654. HENSEN. *Ueber das Sehen in der Fovea centralis.* Virchow's Arch. f. pathol. A Bd. 39. S. 475.

3655. E. JÄGER. *Schriftscalen.* 4. Aufl. Wien.

**1869.**

3656. J. GREEN. *On a new series of Test-Letters for determining the acutene vision.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. IV. u. V. S. 68.

3657. H. SNELLEN. *Probebuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe.* 3. Aufl. Be Peters.

3658. M. WOINOW. *Zur Bestimmung der Sehschärfe bei Ametropie.* Arch. f. Ophth XV. (2.) S. 144—154.

**1870.**

3659. BOETTCHER. *Geometrische Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe bei Funct prüfungen des Auges mit besonderer Berücksichtigung der Untersuchung Mi pflichtiger.* Berlin, H. Peters.

3660. M. BURCHARDT. *Internationale Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe und weite.* Kassel.

3661. G. COWELL. *Test-types, for determining the acuteness of vision, after, but smaller than those of Dr. H. Snellen.* London.

3662. H. DOR. *Kurze Anleitung zur Untersuchung der Sehschärfe.* Bern, Fiala.

3663. M. REICH. *Tafel von verschiedenen Zeichnungen für die Untersuchung der Seh bei Leuten, die keine Buchstaben kennen.* Milit. med. Zeitschr. St. Petersburg.

**1871.**

3664. M. BURCHARDT. *Internationale Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe und weite.* 2. Aufl. Kassel.

1872.

5. F. C. DONDERS. *Prakt. Opmerkingen over den invloed van hulplenzen op de Gezichtsscherpte.* XIII. Jaarl. Versl. van het Nederl. Gasth. v. Oogl. p. 123.
6. JEFFRIES. *Sehschärfe.* Klin. Mon.-Bl. X. S. 118.
7. H. VALERIUS. *Description d'un procédé pour mesurer l'avantage de la vision binoculaire sur la vision au moyen d'un seul oeil quant à l'éclat ou à la clarté des objets.* Bull. de l'acad. roy. de Belgique. 2. sér. XXXIV. No. 7. S. 34—43.

1873.

8. BURCHARDT. *Ueber hohe Grade von Sehschärfe.* Dtsch. militärärztl. Zeitschr. II. No. 11 u. 12.
9. J. GEMPAK. *Snellen's Lettertafeln im Japanischen.* Utrecht.
0. H. SNELLEN. *Test-Types for the determination of the acuteness of vision.* Berlin.
1. — *Probebuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe.* 4. Aufl. Berlin.
2. VALERIUS. *Beschreibung eines Verfahrens zur Messung der Vorzüge des binocularen Sehens gegen das monoculare, in Betreff sowohl der Helligkeit als der Deutlichkeit.* Pogg. Ann. Bd. 150. S. 317—324.

1874.

3. H. COHN. *Untersuchungen der Sehschärfe in der Jugend und im Alter.* Jahresber. d. schles. Ges.
4. G. MITKIEWITSCH. *Zur Frage über die Schärfe des centralen Sehens und ihre Beziehung zu den Grenzen des Gesichtsfeldes in Augen verschiedener Brechbarkeit.* Diss. Petersburg. (Russisch.)

1875.

5. J. A. BROWN. *On the power of the eye and the microscope to see parallel lines.* Proc. of the Roy. Soc. of London. XXIII. S. 522—532.
6. A. ILEN. *Ueber die Sehschärfe und Intensität der Lichtempfindung auf der Peripherie der Netzhaut.* Petersburg. — Diss. Militärärztl. Journ. Juni-Heft.
7. F. MONOYER. *Echelle typographique décimale pour mesurer l'acuité de la vue.* Compt. Rend. LXXX. S. 1137. – Gaz. méd. de Paris. No. 21.
8. H. SNELLEN. *Optotypi ad visum determinandum.* Utrecht und Berlin.

1876.

9. W. DOBROWOLSKY und A. GAINE. *Ueber die Sehschärfe (Formsinn) an der Peripherie der Netzhaut.* Pflüger's Arch. f. Physiol. XII. S. 411—432.
0. E. EMMERT. *Veränderte Sehschärfe bei Druck auf's Auge.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. V. S. 400.
1. O. KÖNIGSHÖFER. *Das Distinctionsvermögen der peripheren Theile der Netzhaut.* Erlangen.
2. E. REGÉCZY. *Ueber das periphere Sehen.* (Ungarisch.) Orvosi Hetilop. No. 22 u. 26.
3. C. SCHWEIGGER. *Sehproben.* Berlin.

1877.

4. A. CHARPENTIER. *De la vision avec les diverses parties de la rétine.* Paris, Masson. 55 S. — Arch. de Physiol. IX. S. 894—945.
5. J. HIRSCHBERG. *Historisch kritische Notiz zur Lehre vom kleinsten Gesichtswinkel.* Verh. d. Berl. Physiol. Ges. v. 12. Jan. — Ophthalm. Hospit. Rep. IX. 1. S. 16—21.
6. E. LANDOLT. *Des rapports, qui existent entre l'acuité visuelle et la perception des couleurs au centre et aux parties excentriques de la rétine.* Gaz. méd. de Paris. No. 31. S. 378—380.
7. — *Ueber das Verhältniſs des Formsinnes zum Farbensinne im Centrum und in excentrischen Theilen der Netzhaut.* Centralbl. f prakt. Augenheilkde. I. S. 222 bis 223.
8. RICCO. *Sopra un fenomeno soggetivo di visione.* Ann. d. Ottal. VI. S. 547.
9. SEGGEL. *Ueber genaue Bestimmung der Sehschärfe und die Klassificirung einseitiger Amblyopien.* Dtsch. militärärztl. Zeitschr. VI. S. 153.
0. H. SNELLEN. *Optotypi ad visum determinandum.* Berlin. edit. 5.
1. L. DE WECKER. *Échelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle.* Paris. Doin.

1878.

2. ALBINI. *Reflexionen über die typographische Scala zu optischen Proben.* Giorn. internat. d. sc. med. S. 52—56.
3. BADAL. *Conférences d'optométrie. Réfraction. Accommodation. Acuité visuelle. etc.)* Gaz. des Hôpit. No. 15. 19. 53. 73. 89. 105.

3694. J. HIRSCHBERG. *Ueber graphische Darstellung der Netzhautfunction.* Arch. f. (Anat Physiol. II. S. 324—331.
3695. E. JÄGER. *Schriftscalen.* 6. Aufl. Wien.
3696. M. REICH. *Einiges über die Augen der Armenier und Georgier.* Arch. f. Ophth XXIV. 3. S. 231—238.

**1879.**

3697. ALBINI. *Ueber typographische Sehproben.* Giorn. intern. d. Sc. med. I. 1.
3698. A. CHARPENTIER. *De la vision avec les diverses parties de la rétine.* Thèse. P
3699. H. COHN. *Sehschärfe und Farbensinn der Nubier.* Centralbl. f. prakt. Augenheil III. S. 197—200.
3700. — *Sehschärfe und Farbensinn bei elektrischem Lichte.* Centralbl. f. prakt. Augenheil III. S. 105—107.
3701. — *Vergleichende Messungen der Sehschärfe und des Farbensinnes bei Tages-, und elektrischem Lichte.* Arch. f. Augenheilkde. VIII. S. 408.
3702. GIRAUD-TEULON. *Acuité visuelle.* Ann. d'Oculist. Bd. 81. Mai-Juni.
3703. MAUREL. *Dimension minime de l'image rétinienne.* Arch. de méd. nav. S. 265—280. — Gaz. hebdom. No. 28.
3704. POUCHET. *Note sur les moindres images rétiniennes.* Gaz. méd. de Paris. No. — Soc. de Biol. 12. Juli. — Gaz. hebdom. No. 29. S. 463.
3705. REICH. *Ueber die Sehschärfe bei den Georgiern.* Centralbl. f. prakt. Augenheil III. S. 301—302.
3706. H. SCHÖLER. *Ueber die Stellung der Ophthalmologie zur Anthropologie.* Virch Arch. f. path. Anat. Bd. 78.
3707. H. SNELLEN. *Optotypi ad visum determinandum secundum formulam* V = Berlin, Peters.
3708. S. TALKO. *Ein Fall von außerordentlicher Sehschärfe.* Ber. über d. 12. Ver ophthalmol. Ges. z. Heidelberg. S. 114.

**1880.**

3709. H. ARMAIGNAC. *Quelques mots sur l'acuité visuelle et les échelles optométriques.* d'oculist. du sud-ouest. I. 1. S. 5. 2. S. 25—33.
3710. CARVERAS-ARAGO. *Examen y mejora de la vision, seguido de una serie de cu sinopticos y de unas tablas y escalas visuales cromaticas.* Barcelona.
3711. A. CHARPENTIER. *Sur la sensibilité différentielle de l'oeil pour de petites surfaces.* A d. sc. 24 juillet. — Arch. génér. Nov.
3712. — *Sur la limite de petitesse des objects visibles.* Rev. méd. de l'Est. 1. Jan.
3713. GALEZOWSKI. *Échelles portatives des caractères des couleurs pour mesurer l' visuelle.* Paris, Baillière.
3714. E. JAVAL. *Acuité visuelle.* Gaz. des hôpit. No. 28. S. 221.
3715. MANOLESCU. *Recherches relatives à l'étude de l'acuité visuelle; conditions de la bilité des lignes et des points.* Soc. de Biol. 7. Febr. — Gaz. méd. No. 12. — d'Oculist. LXXXIII. S. 55—62.
3716. SALZER. *Ueber die Anzahl der Sehnervenfasern und der Retinalzapfen im Aug Menschen.* Wien. Ber. Bd. 81. (3.)
3717. TALKO. *Resultate der Bemessungen der Sehschärfe bei den Soldaten des Warsch Militärbezirks.* Kronika Rekarska. No. 2 u. 3. — Klin. Mon.-Bl. f. Augenheil XVIII. S. 139.
3718. WOOD. *Ophthalmic Test-Types and Color-Blindness-Tests.* New York, Wood &

**1881.**

3719. G. ALBINI. *Tavole per le prove ottiche in oculistica precedute da alcune rifles sulle scale tipografiche.* Neapel, Detken.
3720. BADAL. *Sur l'angle visuel.* Soc. d'anat. et de physiol. de Bordeaux. I.
3721. C. DU BOIS-REYMOND. *Zahl der Empfindungskreise in der Netzhautgrube.* Be Diss. 34 S.
3722. R. BUTZ. *Vorläufige Mittheilungen über Untersuchungen der physiologischen Funct der Peripherie der Netzhaut.* Arch. f. (Anat. u.) Physiol. V. S. 437—445.
3723. U. HERZENSTEIN. *Die Sehschärfe bei 27672 Soldaten des Charkow'schen Mil bezirks.* Beil. z. d. Sitzgs-Prot. d. Charkow'schen med. Ges. No. 1. — Centralb prakt. Augenheilkde. V. S. 3—7.

**1882.**

24. A. Charpentier. *Recherches sur la distinction des points lumineux.* Arch. d'ophthalm. S. 382.
25. v. Fleischl. *Physiologisch-optische Notizen.* IV. Mittheilung. Sitzg. vom 9. Juni. Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad. LXXXVI. 3. Abth.
26. E. Jäger. *Schrift-Scalen.* 7. Aufl. Wien.
27. Leroy. *Vision centrale, irradiation et acuité visuelle.* Arch. d'ophthalm. Jan., Febr. u. Juli-Aug.
28. G. Mayerhausen. *Zifferntafeln zur Bestimmung der Sehschärfe nach der Snellen-schen Formel.* Berlin, Peters.
29. A. Nieden. *Schriftproben.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 89.

**1883.**

30. G. Becker. *Ueber excentrische Sehschärfe und ihre Abgrenzung von der centrischen.* Diss. Halle. Wiesbaden, Bergmann.
31. J. Bjerrum. *Untersuchungen über den Formen- und Lichtsinn.* Diss. Kopenhagen
32. Brailey. *On the tests of vision best adapted for service at sea.* Trans. Ophthalm Soc. U. K. II. S. 184.
33. Burchardt. *Internationale Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe und Sehweite* 3. Aufl. Kassel.
34. R. Butz. *Untersuchungen über die physiologischen Functionen der Peripherie der Netzhaut.* Diss. Dorpat.
35. A. Charpentier. *La perception des couleurs et la perception de formes.* Compt. Rend. Bd. 96. S. 858 u. 1079.
36. E. v. Fleischl. *Die Vertheilung der Sehnervenfasern über die Zapfen der menschlichen Netzhaut.* Wien. Sitzgs.-Ber. Bd. 87. Abth. 3.
37. — *Zur Anatomie und Physiologie der Retina.* Biol. Centralbl. III. S. 309 u. 331.
38. Galezowski. *Échelles optométriques et chromatiques pour mesurer l'acuité de la vision, les limites du champ visuel et la faculté chromatique.* Paris.
39. R. Hilbert. *Ueber das excentrische Sehen.* Physik.-ökon. Ges. zu Königsberg. Bd. 24.
40. A. Nieden. *Schriftproben zur Bestimmung der Sehschärfe.* 2. Aufl. Wiesbaden.
41. Pflüger. *Optotypi.* Ber. d. Berner Univ.-Augenkl. S. 75.
42. Saskewitsch. *Einige Fälle außerordentlicher Sehschärfe.* Wratsch. No. 1.
43. Schadow. *Die Augen der Schulkinder Borkums.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 150.
44. A. Schapringer. *An improvement in the arrangement of Snellen's test-types.* Med. Rec. New-York. XXIII. 3. S. 73.
45. Seggel. *Ueber die Augen der Feuerländer und das Sehen der Naturvölker im Verhältniß zu dem der Culturvölker.* Arch. f. Anthrop. XIV. S. 3.

**1884.**

46. J. Bjerrum. *Untersuchungen über den Lichtsinn und den Raumsinn bei verschiedenen Augenkrankheiten.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXX. (2.) S. 201.
47. A. Charpentier. *Recherches sur la distinction des points noirs sur fond blanc.* Arch. d'Ophthalm. S. 193.
48. E. v. Fleischl. *Zur Physiologie der Retina.* Wien. med. Wochenschr. No. 10 u. 11.
49. M. de Lépinay und Nicati. *De l'acuité visuelle binoculaire.* Bull. de la Soc. franç. d'ophthalm. S. 56.
50. R. Maddox. *On distant vision.* Proc. of the Royal Soc. of London. 21. Januar. XII. S. 483.
51. G. Mayerhausen. *Ueber eine subjective Erscheinung bei Betrachtung von Contouren.* Graefe's Arch. XXX. (2.) S. 191—200.
52. E. Pflüger. *Optotypi (Sehproben).* Bern, Dalp.
53. Seggel. *Ueber normale Sehschärfe und die Beziehungen der Sehschärfe zur Refraction.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXX. (2.) S. 69—140.

**1885.**

54. Albini. *Tavole ottimetriche.* Neapel, Detken.
55. J. Rand Capron. *Civilisation and Eyesight.* Nature. XXXI. S. 359.
56. B. Carter. *Acuteness of vision.* Med. Tim. and Gaz. I. S. 461.
57. R. B. Carter u. G. A. Berry. *Civilisation and Eyesight.* Nature. XXXI. S. 386 bis 388.
58. J. W. Clark. *Civilisation and Eyesight.* Nature. XXXI. S. 433—434.

3759. J. Starkie Gardner. *Far-sightedness.* Nature. XXXI. S. 578.
3760. H. Guppy. *Civilisation and Eyesight.* Nature. XXXI. S. 503—504.
3761. E. Hill. *Far-sightedness.* Nature. XXXI. S. 553.
3762. J. Hippisley. *Far sightedness.* Nature. XXXI. S. 553.
3763. A. König. *Ueber den Gesichtssinn der Zulu-Kaffern.* Verhandl. d. Berl. Ph[illegible] Ges. IV. S. 15—17.
3764. R. W. Lawson. *Acuteness of vision.* Med. Tim. and Gaz. I. S. 593.
3765. E. Metzger. *Far-sightedness.* Nature. XXXI. S. 506.
3766. Oliver. *A new series of metric test-letters for determining the acuity of direct vi[illegible] for form.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 130. — Med. News. XL[illegible] S. 247.
3767. A. Shaw Page. *Long Sight.* Nature. XXXI. S. 103.
3768. Lord Rayleigh. *Civilisation and Eyesight.* Nature. XXXI. S. 340.
3769. Lord Rayleigh u. G. B. Buckton. *Civilisation and Eyesight.* Nature. XX[illegible] S. 407—408.
3770. Ch. Roberts. *Education and eyesight.* Med. Tim. and Gaz. I. S. 173.
3771. — *Civilisation and Eyesight.* Nature. XXXI. S. 552—553.
3772. H. Snellen. *Optotypi ad visum determinandum.* 8. edit. Berlin.
3773. J. F. Tennant, S. Lupton, Lord Rayleigh u. A. Cumminigham. *Civilisation [illegible] Eyesight.* Nature. XXXI. S. 457—458.
3774. *Sehproben, entworfen nach dem Metersystem zur Bestimmung der Sehschä[illegible]* Herausgegeben vom St. Peterburger Augenhospital.
3775. *Civilisation and Eyesight.* Science. VI. S. 195—196.

1886.

3776. E. Albini. *Della visione indiretta delle forme e dei colori.* Giorn. della R. Acc[illegible] di Med. No. 7—8.
3777. L. Bellarminow. *Ueber den Werth der für die Bestimmung der Sehschärfe [illegible] gewandten Sehproben.* Westnik ophthalm. Jan.-Febr.
3778. — *Ueber die Tauglichkeit und Genauigkeit der vorhandenen Probebuchstaben für Bestimmung der Sehschärfe.* Arch. f. Augenheilkde. XVI. S. 284.
3779. Berry. *Note on the relative visual acuity of fully corrected axial amet[illegible]* Ophthalm. Rev. S. 309.
3780. C. du Bois-Reymond. *Seheinheit und kleinster Sehwinkel.* Graefe's Arch. f. Ophth[illegible] XXXII. (3.) S. 1.
3781. A. E. Bostwick. *On a means of determining the limits of distinct vision.* Scie[illegible] VIII. S. 232.
3782. H. Cohn. *Tafel zur Prüfung der Sehschärfe der Schulkinder, Soldaten und Be[illegible] beamten.* Breslau.
3783. Csaspodi. *Sehproben.* Szemészet. S. 125.
3784. W. S. Dennet. *Test-type for popular use.* Ophthalm. Rev. S. 254.
3785. — *A new test-type.* Transact. of the americ. ophthalm. soc. 22. Vers. New-Lond[illegible] S. 245. — Americ. Journ. of Ophthalm. S. 259.
3786. S. Exner. *Ein Versuch über die Netzhautperipherie als Organ zur Wahrnehmung [illegible] Bewegungen.* Pflüger's Arch. XXXVIII. S. 217—218.
3787. Wecker und Masselon. *Echelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle, l[illegible] chromatique et le sens lumineux.* 2. Aufl. Paris, Doin.
3788. Wertheim. *Die Zahl der Scheinheiten in der Umgebung der Fovea.* Tagebl[illegible] 59. Vers. d. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 418.

1887.

3789. G. Albini. *Sulla visione indiretta delle forme e dei colori.* Ann. di Ottalm. [illegible] S. 482.
3790. H. Cohn. *Tafel zur Prüfung der Sehschärfe der Schulkinder.* 2. Aufl. Bres[illegible] Priebatsch.
3791. E. v. Jaeger. *Schrift-Scalen.* Wien, Seidel u. Sohn. 8. Aufl.
3792. T. Oughton. *Minima visibilia and sensory circles.* Lancet. I. S. 301 u. 364.
3793. Th. Wertheim. *Ueber die Zahl der Scheinheiten im mittleren Theile der Ne[illegible]* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. (2.) S. 137.

1888.

3794. A. Charpentier. *Acuité visuelle et dynamogénie.* Compt. Rend. de la Soc. de B[illegible] V. No. 19.

5. IMBERT. *De l'acuité visuelle.* Gaz. hebdom. de sc. méd. de Montpellier. X. S. 217.
6. PARINAUD. *Echelle optométrique, acuité visuelle, perception de la lumière et des couleurs.* Paris, Roulot.

**1889.**

7. ABBOTT. *Test-types for the use of school-teachers.* London, Prichard and Curry.
8. A. CARL. *Ueber die Anwendung von Decimalbrüchen zur Bestimmung der Sehschärfe.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 469—472.
9. C. M. CULVER. *Test-types.* Albany med. Ann. X. S. 321.
0. E. LANDOLT. *Opto-types simples.* Paris, O. Doin.
1. A. LOTZ. *Internationale Sehprobentafel mit einfachsten Zeichen zur Bestimmung der Sehschärfe bei Nichtlesern und Kindern nach der Snellen'schen Formel* $v = \frac{d}{D}$. Basel, Sallmann & Bonacker.
2. G. MITKJEWITSCH. *Schriftproben und Tafeln zur Untersuchung der Sehschärfe.* (Russisch.) Odessa.
3. A. NIEDEN. *Schrifttafeln zur Bestimmung der Sehschärfe für die Ferne.* N. F. Wiesbaden, Bergmann.
4. WECKER et J. MASSELON. *Echelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle.* Paris.
5. G. WEISS. *Du pouvoir séparateur de l'oeil.* Paris, F. Pichon. 13 S.

**1890.**

6. H. COHN. *Tafeln zur Prüfung der Sehschärfe der Schulkinder, Soldaten und Bahnbeamten.* 3. Aufl. Breslau.
7. GALEZOWSKY. *Echelles portatives des caractères et des couleurs, pour mesurer l'acuité visuelle.* 2. Aufl. Paris, Baillière.
8. PARENT. *Echelle optométrique.* Compt. Rend. de la Soc. franç. d'Ophthalm. Rev. gén. S. 229.
9. M. REICH. *Nouveaux test-types pour la détermination de l'acuité visuelle.* (Russisch.) 5. Aufl. Tiflis.
0. C. SCHWEIGGER. *Sehproben.* 2. verb. Aufl. Berlin, Hirschwald. 7 S. u. 45 Taf.
1. H. SNELLEN. *Optotypi.* 10. Aufl. Berlin, Peters.
2. W. UHTHOFF. *Ueber die kleinsten wahrnehmbaren Gesichtswinkel in den verschiedenen Theilen des Spectrums.* Zeitschr. f. Psychol. I. S. 155—160.
3. — *Weitere Untersuchungen über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Intensität, sowie von der Wellenlänge im Spectrum.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (1.) S. 33—61.

**1891.**

4. BECKER. *Ein Apparat zur Sehschärfenbestimmung mit beweglichen Lesezeichen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XV. S. 171.
5. — *Ueber absolute und relative Sehschärfe bei verschiedenen Formen der Amblyopie.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. 29. S. 404—423.
6. H. COHN. *Tafel zur Prüfung der Sehschärfe der Schulkinder, Soldaten, Seeleute und Bahnbeamten.* Breslau, Priebatsch.
7. GUILLERY. *Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe.* Wiesbaden, Bergmann. 6 Taf. u. 2 Hefte.
8. — *Ein Vorschlag zur Vereinfachung der Sehproben.* Arch. f. Augenheilkde. XXIII. S. 323—333.
9. JACKSON. *Test for visual acuteness; their illumination and the standard of normal vision.* Journ. Americ. med. Assoc. 31. Januar.

**1892.**

0. GUILLERY. *Nochmals meine Sehproben.* Arch. f. Augenheilkde. XXVI. S. 79—84.
1. LIEBRECHT. *Kritische Bemerkungen zu Guillery's „Vorschlag zur Vereinfachung der Sehproben".* Arch. f. Augenheilkde. XXV. S. 37—41.
2. SCHNELLER. *Sehproben zur Bestimmung der Refraction, Sehschärfe und Accommodation.* Danzig, Kafemann. 24 S.
3. A. STEIGER. *Einheitliche Sehproben zur Untersuchung der Sehschärfe in die Ferne und in die Nähe.* Hamburg und Leipzig, L. Voss. 40 S. u. 1 Taf. Beitr. z. Augenheilkde Heft 7.
4. WOLFFBERG. *Buchstaben-, Zahlen- und Bildertafeln nebst einer Abhandlung über die Sehschärfe.* Breslau, Preufs & Jünger.

**1893.**


3825. W. Albrand. *Sehproben.* Leipzig, H. Hartung u. Sohn. 4. Taf. 1 S. Text.

3826. Badal. *Considérations sur la mesure de l'acuité visuelle.* Soc. d'ophthalm. et laryng. de Bordeaux, April. — Ann. d'Oculist. Bd. 110. S. 201.

3827. Berry. *On the relation between visual acuity and visual efficiency.* Transac the ophthalm. soc. XIII. S. 223.

3828. D. Boerma und K. Walther. *Untersuchungen über die Abnahme der Sehschärfe Alter.* Arch. f. Ophthalm. XXXIX. (2.) S. 71—82.

3829. M. Burchardt. *Internationale Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe und weite.* 4. Aufl. Berlin, O. Enslin. 11 Taf u. 32 S.

3830. H. Cohn. *Tafel zur Prüfung der Sehschärfe der Schulkinder, Soldaten, Seeleute Bahnbeamten.* Nach Snellen's Princip. 4. Aufl. Breslau, Priebatsch.

3831. Groenouw. *Ueber die Sehschärfe der Netzhautperipherie und eine neue Untersuchu methode derselben.* Arch. f. Augenheilkde. XXVI. S. 85—133. — Hab.-Schr. B lau. 48 S. 1892.

3832. Guillery. *Zur Sehschärfebestimmung.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXI. S. bis 266.

3833. Javal. *Ueber die Messung der Sehschärfe.* Franz. Ges. d. Augenheilkde. 11. Sitz zu Paris 1.—4. Mai.

3834. Magawly. *Tafeln und Schriftproben zur Bestimmung der Sehschärfe.* 2. A St. Petersburg.

3835. *Tafeln und Schriftproben zur Bestimmung der Sehschärfe, entworfen nach dem Me system.* Herausgegeb. v. d. St. Petersburger Augenheilanst. 2. verb. Aufl. St. Pete burg u. Leipzig, C. Ricker.


**1894.**


3836. H. Bordier. *Acuité visuelle des yeux amétropes. — Acuité vraie et acuité appar* Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 355—371.

3837. H. Cohn. *Ueber die Annahme der Sehschärfe im Alter.* Graefe's Arch. f. Ophtha Bd. 40. (1.) S. 326—336.

3838. — *Transparente Sehproben.* (4 S. in deutsch., franz., engl. u. ital. Spr. m. 1 T Wien, F. Deutike.

3839. Groenouw. *Acuité visuelle à la périphérie de la rétine. Nouvelle méthode pour déterminer.* Arch. of Ophthalm. XXII. S. 502.

3840. Guillery. *Einiges über den Formensinn.* Arch. f. Augenheilkde. XXII S. 263—276.

3841. J. Hirschberg. *Zur Geschichte der Sehproben.* Centralbl. f. prakt. Augenheilk XVIII. S. 320.

3842. W. Nicati. *Échelles visuelles et leurs applications.* Société d'éditions. — Ann. d'Ocul CXI. S. 413.

3843. H. Snellen. *Optotypi ad visum determinandum secundum formulam* $v = \frac{d}{D}$. 12. Ae Berlin, H. Peters. 34 Bl. m. 4 Taf.

3844. G. J. Stoney. *On the limits of vision: with special reference to the vision of* Philos. Mag. Bd. 37. No. 226. S. 316—331.

3845. Th. Wertheim. *Ueber die indirecte Sehschärfe.* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. bis 187.

## § 19.

## Die einfachen Farben.

Es gehört hierher auch ein Theil der Litteratur von § 20.

### 1. Aeltere Litteratur (bis Newton).

**384—322 v. Ch.**

46. ARISTOTELES. *De coloribus.*

**1571.**

47. JOH. FLEISCHER. *De iridibus doctrina Aristotelis et Vitellionis.* Vitembergae. S. 86.

**1588.**

48. JO. BAPT. PORTA. *De refractione libri novem.* Napoli. Lib. IX.

**1590.**

49. BERNARDINI TELESII *Opera.* Venetiis. De Iride et coloribus.

**1611.**

50. M. ANTONIUS DE DOMINIS. *De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et Iride.* Venetiis.

**1618.**

51. F. MAUROLYCUS. *De lumine et umbra.* Lugd. S. 57.

**1637.**

52. CARTESIUS. *De meteoris.* Cap. VIII.

**1646.**

53. A. KIRCHER. *Ars magna lucis et umbrae.* Romae.

**1648.**

54. JO. MARCUS MARCI *Thaumantias, liber de arcu coelesti, deque colorum apparentium natura, ortu et caussis.* Pragae.

**1662.**

55. J. VOSSIUS. *De lucis natura et proprietate.* Amstelodami.

**1665.**

56. R. HOOKE. *Micrographia.* London. S. 64.

**1670.**

57. BOYLE. *Experiments and considerations touching color.* London.

### 2. Newton und Göthe.

**1672.**

58. J. NEWTON. *New theory of light and colours.* Philos. Transact.
59. — *Some experiments proposed in relation to the new theory light.* Philos. Transact.
60. — *Answer to the animadversions of Mr. J. G. Pardies. On the new theory of light.* Philos. Transact.
61. — *A series of queries proposed to be determined by experiments positively and directly including the new theory of light and colours.* Philos. Transact.
62. — *Second answer to Mr. Pardies.* Philos. Transact.
63. — *Answer to some considerations of the doctrine of light and colours.* Philos. Transact.
64. J. G. PARDIES. *Two letters containing some animadversions upon J. Newton's theory of light.* Philos. Transact.

**1673.**

65. J. NEWTON. *Answer to a letter from Paris, further explaining the theory of light and colours and particulary that of whiteness.* Philos. Transact.
66. — *On the number of colours and the necessity of mixing them all for the production of white.* Philos. Transact.

**1675.**

67. J. NEWTON. *Considerations on the reply of Mr. Linus; together with further directions how to make the experiments controverted to right.* Philos. Transact.

**1676.**

8868. J. Newton. *A particular answer to Mr. Linus. Objections to his expe with the prism.* Philos. Transact.

**1689.**

8869. G. A. Hamberger et Fischer. *De coloribus.* Jenae.

**1704.**

8870. J. Newton. *Optics or a treatease of the reflections, refractions, inflection colours of light.* London. (Vollständige Ausarbeitung seiner optischen Entdecku

**1711.**

8871. De la Hire. *Sur quelques couleurs.* Mém. de l'Acad. des Sc. S. 100.

**1727.**

8872. Rizetti. *Specimen physico math. de luminis affectionibus.* Ven.

**1728.**

8873. J. Newton. *Optical lectures read in the public schools of the University of Caml* London. (Lat. Uebersetzung: *Lectiones opticae, annis 1669—1671 in scholis pu* London 1729.)

**1737.**

8874. J. C. Le Blond. *Harmony of colouring.* London.

**1740.**

8875. Castel. *L'optique des couleurs.* Paris.

**1746.**

8876. L. Euler. *Nova theoria lucis colorum* in den *Opusculis varii argumenti.* Berol. S. 169·

**1750.**

8877. Gautier. *Chroagenesie ou génération des couleurs contre le système de Newton.*

**1752.**

8878. L. Euler. *Essai d'une explication physique des couleurs engendrées sur des su extremement minces* Mém. de l'Acad. de Berlin. S. 271.

8879. Gautier. *Observations sur l'histoire naturelle, sur la physique et la peinture.*

**1754.**

8880. Cominali. *Anti-Newtonianismus.* Napoli.

**1762.**

8881. J. P. Eberhard. *Versuch einer Erklärung von der Natur der Farben zur Erläut der Theorie Newtons.* Halle.

**1780.**

8882. Elliot. *Observations on the senses.* (Deutsch unter dem Titel: *Beobachtungen die Sinne.* Leipzig 1785.)

8883. Marat. *Découvertes sur la lumière.* Paris.

**1784.**

8884. Marat. *Notions élémentaires d'optique.* Paris.

**1791.**

8885. J. W. Göthe. *Beiträge zur Optik. Erstes Stück.* Weimar. (Kritik in: A Jenaer Litteratur-Zeitung. Jahrg. 1792. No. 31. S. 241—145.)

**1792.**

8886. J. W. Göthe. *Beiträge zur Optik. Zweites Stück.* Weimar.

**1793.**

8887. F. A. C. Gren. *Einige Bemerkungen über des Herrn von Göthe Beiträg Optik.* Gren's Journ. d. Phys. VII. S. 3—21.

**1794.**

8888. Wünsch. *Kosmologische Unterhaltungen.*

**1810.**

8889. J. W. Göthe. *Zur Farbenlehre.* 2 Bde. J. G. Cotta. 1810. Stuttgart. — (Besprech und Anzeigen finden sich: Neue oberdeutsche allgemeine Litteratur-Ze 2. Jahrg. 2. Hälfte. S. 25—32. — Neue Leipziger Litteratur-Zeitung. Bd S. 1629—1632. — Heidelberger Jahrbücher der Litteratur. 3. Jahrg. 4. S. 289—307. — Annales de Chimie. 1811 [übersetzt in Gilbert's Ann. d. Pl Bd. 40. S. 103—115]. — Göttinger gelehrter Anzeiger. 22. Juni 1811. S. 977- — Hallesche Allgemeine Litteratur-Zeitung. 29. Jan. 1811. S. 233—240. 30. Jan. S. 241—347 u. 31. Jan. 1811. S. 249—255. — Ergänzungsblätter zur Jena allgemeinen Litteratur-Zeitung. (1813.) 1. Jahrg. 1. Bd. No. 3—6. S. 17—44. – Quarterly Review. 1814. Vol. X. No. XX.)

0. MOLLWEIDE. *Bemerkungen zu Göthe's Polemik gegen Newton.* Zach's monatliche Correspondenz. XXII. S. 91—93.
1. M. KLOTZ. Kritischer Anzeiger für Litteratur und Kunst. No. 30—33. München.

**1811.**

2. PARROT. *Grundrifs der Physik.* 2. Th. Dorpat u. Riga.
3. SEEBECK. *Von den Farben und dem Verhalten derselben gegen einander.* Schweigger's Journ. Bd. I. S. 4—12.
4. MOLLWEIDE. *Demonstratio propositionis quae theoriae colorum Newtoni fundamenti loco est.* Lipsiae.
5. C. H. PFAFF. *Ueber die farbigen Säume der Nebenbilder des Doppelspats mit besonderer Berücksichtigung von Goethe's Erklärung der Farbenentstehung durch Nebenbilder.* Schweigger's Jahrbücher. VI. S. 177.
6. POSELGER. *Der farbige Rand eines durch ein biconvexes Glas entstehenden Bildes mit Bezug auf Göthe's Farbenlehre.* Gilbert's Ann. XXXVII. S. 135.

**1812.**

7. J. F. BENZENBERG. *Briefe, geschrieben auf einer Reise durch die Schweiz.* Düsseldorf 1812. 2. Bd. 26. u. 34. Brief.

**1813.**

8. P. PREVOST. *Quelques remarques d'optique.* Bibliothèque Britannique. Tome 53. S. 18—29.
9. C. H. PFAFF. *Ueber Newton's Farbentheorie, Herrn v. Göthe's Farbenlehre und den chemischen Gegensatz der Farben.* Leipzig, F. C. W. Vogel. — (Besprechungen finden sich in: Göttinger gelehrte Anzeigen. 15. Mai 1813. S. 761—768. — Heidelb. Jahrbücher der Litteratur. 1814. 7. Jahrg. 1. Hälfte. S. 417—430.)

**1816.**

0. *Ueber physiologe Gesichts- und Farbenerscheinungen.* Schweigger's Journ. XVI. S. 121—157.
1. M. KLOTZ. *Gründliche Farbenlehre.* München.

**1817.**

2. J. W. v. GÖTHE. *Die entoptischen Farben.* Zur Naturwissenschaft. S. 126—190.
3. WERNEBURG. *Merkwürdige Phänomene durch verschiedene Prismen zur richtigen Würdigung Newton'scher und Goethe'scher Farbenlehre.* Nürnberg.

**1822.**

4. L. v. HENNING. *Einleitung zu öffentlichen Vorlesungen über Goethe's Farbenlehre, gehalten an der königl. Universität zu Berlin.* Berlin 1822.

**1823.**

5. BOURGEOIS. *Manuel d'optique expérimentale.* Paris. 2 Bände.

**1826.**

6. JOH. MÜLLER. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes.* Leipzig 1826. S. 391—434.

**1827.**

7. BRANDES. Art. *Farbe* in Gehler's neuem physik. Wörterbuch.

**1830.**

8. A. HUECK. *Das Sehen seinem äufseren Processe nach entwickelt.* Riga.

**1833.**

9. REUTHER. *Ueber Licht und Farbe.* Kassel.
10. STEFFENS. *Ueber die Bedeutung der Farben in der Natur.* Schriften alt und neu.

**1835.**

11. HELWAG. *Newton's Farbenlehre aus ihren richtigen Principien berichtigt.* Lübeck.
12. MOSER. *Ueber Goethe's Farbenlehre.* Abhandl. d. Königsb. dtsch. Ges.

**1836.**

13. LLOYD. *Abrifs einer Geschichte der Fortschritte und des gegenwärtigen Zustandes der physischen Optik,* übersetzt von Kloeden.

**1853.**

14. H. HELMHOLTZ. *Ueber Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten.* Kieler Monatsschrift für Wissenschaft und Lit. Mai. S. 383—398. — Popul. Wiss. Vortr. 1 H. Braunschweig. 1865 u. 1876. — Vorträge u. Reden. Bd. I. Braunschweig. 1884.

**1857.**

15. GRAVELL. *Goethe im Recht gegen Newton.* Berlin. — Recensirt von Q. ICILIUS in Kekule's kritischer Zeitschr. f. Chemie, Physik u. Math. Erlangen 1858. 2/3

**1858.**

3916. A. ADERHOLDT. *Ueber Goethe's Farbenlehre.* Weimar.

**1859.**

3917. GRÄVELL. *Ueber Licht und Farben mit besonderer Beziehung auf die Farbenl Newton's und Goethe's.* Berlin.

**1860.**

3918. GRÄVELL. *Die zu sühnende Schuld gegen Goethe.* Berlin.

**1862.**

3919. R. HANTZSCH. *Goethe's Farbenlehre und die Farbenlehre der heutigen Phy* Dresden.

**1863.**

3920. J. K. BÄHR. *Vorträge über Newton's und Goethe's Farbenlehre.* Dresden.

**1874.**

3921. N. PLÜSS. *Die Begründung der Farbenlehre durch Newton und ihre Bekämpf durch Goethe.* Basel.

**1878.**

3922. GOETHE's *Werke.* Bd. 35 u. 36. Mit Einleitung und Anmerkungen herausgeg von S. Kalischer. Berlin, G. Hempel.

**1880.**

3923. J. TYNDALL. *Une théorie des couleurs de Goethe.* Rev. scient. 19. Juni. — A d'Ocul. Bd. 84. S. 192—202.

3924. — *Goethe's Farbenlehre.* Pop. Scien. Rev. June 1880.

3925. O. N. ROOD. *Newton's use of the term Indigo with reference to colour of Spectrum.* Sillim. Journ. (3.) XIX. S. 135—137.

**1888.**

3926. A. KÖNIG. *Ueber Goethe's Bezeichnung der von ihm beobachteteten Fälle von Farb blindheit als „Akyanoblepsie".* Verhandl. d. physik. Ges. zu Berlin. 14. Dec.

3927. S. KALISCHER. *Bemerkungen zu dem vorstehenden Vortrag von A. König.* V handl. d. physik. Ges. zu Berlin. 14. Dec.

**1890.**

3928. A. SCHUSTER. *Goethe's „Farbenlehre".* Publications of the English Goethe ciety. No. V. p. 141—151.

3929. GOETHE's *Werke.* Herausgegeben im Auftrage der Grofsherzogin Sophie Sachsen. II. Abth. Naturwiss. Schriften. Bd. 1 u. 2. Weimar, H. Böhlau.

3930. GOETHE's *naturwissenschaftliche Schriften.* Bd. 3. Herausgegeben und mit E leitung versehen von Rud. Steiner. (Deutsche National-Litteratur herausgeg von J. Kürschner. Bd. 116. Stuttgart.)

**1892.**

3931. H. v. HELMHOLTZ. *Goethe's Vorahnungen kommender naturwissenschaftlicher Id* Deutsche Rundschau. Bd. 72. S. 115—132. — Auch sep. Berlin 1892, G. Pätel

**1893.**

3932. GOETHE's *Werke.* Herausgegeben im Auftrage der Grofsherzogin Sophie Sachsen. II. Abth. Naturwissenschaftl. Schriften. Bd. 3 u. 4. Weimar, H. Böhl

## 3. Andere physikalische Farbentheorien.

**1815.**

3933. J. P. BREWER. *Versuch einer neuen Theorie der Lichtfarben.* Düsseldorf.

**1816.**

3934. READE. *Experimental outlines for a new theory of colours, light and vision.* London

**1824.**

3935. HOPPE. *Versuch einer ganz neuen Theorie der Entstehung sämmtlicher Farl* Breslau.

**1828.**

3936. RÖTTGER. *Erklärung des Lichts und der Dunkelheit.* Halle.

**1830.**

3937. SCHÄFFER. *Versuch einer Beantwortung der von der Akademie zu Petersburg a gegebenen Preisfrage über das Licht.* Bremen.

3938. W. CRUMM. *An experimental inquiry into the number and properties of the prim colours, and the source of colours in the prism.* London.

**1831.**

39. D. Brewster. *Description of a monochromatic lamp with remarks on the absorption of the Prismatic Rays.* Edinb. Trans. IX. (2.) S. 433.
40. — *On a new Analysis of Solar Light.* Edinb. Trans. XII. (1.) S. 123. — Pogg. Ann. XXIII. S. 435.

**1834.**

41. Exley. *Physical optics or the phenomena of optics.* London.

**1847.**

42. G. B. Airy. Philos. Mag. XXX. (3.) S. 73. — Pogg. Ann. LXXI. S. 393.
43. D. Brewster. *Reply.* Philos. Mag. XXX. S. 153.
44. J. W. Draper. Silliman Journ. IV. S. 388. — Philos. Mag. XXX. S. 345.
45. D. Brewster. Philos. Mag. XXX. S. 461.
46. Melloni. Bibl. univ. de Genève. Août. — Philos. Mag. XXXII. S. 262. — Pogg. Ann. LXXV. S. 62.
47. D. Brewster. Philos. Mag. XXXII. S. 489.

**1852.**

48. H. Helmholtz. *Ueber Herr D. Brewster's neue Analyse des Sonnenlichts.* Pogg. Ann. LXXXVI. S. 501. — Philos. Mag. VI. (4.) — Berl. Monatsber. 15. Juli 1852. S. 458–461.
49. F. Bernard. *Thèse sur l'absorption de la lumière par les milieux non crystallisés.* Ann. de Chim. (3.) XXXV. S. 385–438.

**1855.**

50. D. Brewster. *On the triple spectrum.* Athen. S. 1156. — Inst. S. 381. — Rep. of Brit. Assoc. (2.) S. 7–9

## 4. Nuancenunterschiede und Grenzen des Spectrums.

**1845.**

51. E. Brücke. *Ueber das Verhalten der optischen Medien der Augen gegen Licht- und Wärmestrahlen.* Müllers Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 262. — Pogg. Ann. LXV. S. 593.

**1846.**

52. E. Brücke. *Ueber das Verhalten der optischen Medien der Augen gegen Sonnenstrahlen.* Müllers Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 379. — Pogg. Ann. LXIX. S. 549.

**1852.**

53. A. Cima. *Sul potere degli umori dell' occhio a trasmettere il calorico raggiante.* Torino.

**1853.**

54. F. C. Donders. *Ueber das Verhalten der unsichtbaren Lichtstrahlen von hoher Brechbarkeit in den Medien des Auges.* Müllers Arch. S. 459. — Onderz. ged. in het physiol. Lab. d. Utrecht'sche Hoogeschool. VI. S. 1.

**1854.**

55. F. C. Donders. *Over de verhouding der onzichtbare stralen van sterke breekbaarheid tot de vochten van het oog.* Ned. Lancet S. 1.
56. G. Kessler. Gräfes Arch. f. Ophthalm. I. Abth. 1. S. 466.

**1855.**

57. H. Helmholtz. *Ueber die Empfindlichkeit der menschlichen Netzhaut für die brechbarsten Strahlen des Sonnenlichts.* Pogg. Ann. XCIV. S. 205. — Ann. de Chim. (3.) XLIV. S. 74. — Arch. d. sc. phys. XXIX. 211. S. 243.

**1856.**

58. G. Wilson. *On the transmission of actinic rays of light through the eye and their relation to the yellow spot of the retina.* Proc. of Edinb. Soc. III. S. 371–375. Edinb. Journ. (2.) IV. S. 147–149.

**1858.**

59. J. Regnauld. *Fluorescence des milieux de l'oeil.* Inst. S. 410.

**1859.**

60. J. Setschenow. *Ueber die Fluorescenz der durchsichtigen Augenmedien.* Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 205–209.

**1860.**

61. J. Regnauld. *Étude sur la fluorescence des milieux transparents de l'oeil.* Cosmos. XVI. S. 88–90. Journ. de Pharm. (3.) XXXVII S. 104–111.

3962. J. Janssen. *Sur l'absorption de la chaleur rayonnante obscure dans les milieu l'oeil.* Compt. Rend. LI. S. 128—131 u. 373—374. — Ann. de chim. (3.) S. 71—93. — Journ. de pharm. (3.) XXXVIII. S. 189—192. — Cosmos. XVII. S bis 140. — Cimento. XII. S. 132—133.

3963. A. v. Gräfe. *Zur Beantwortung der Frage, warum die brechbarsten Strahlen Sonnenlichtes die Empfindung des Leuchtenden nicht erregen.* Arch. f. Ophth VI. (1.) S. 466.

**1861.**

3964. E. Chevreul. *Cercle chromatique.* Paris.

3965. Laurence. *Sensibility of the eye the color.* Philos. Mag. S. 220.

**1862.**

3966. R. Franz. *Ueber die Diathermansie der Medien des Auges.* Pogg. Ann. ( S. 266—279. Philos. Mag. (4.) XXIV. S. 176—185. Arch. de sc. phys. (2.) S. 140—141. Cimento. XVII. 27.

**1866.**

3967. J. B. Listing. *Ueber die Grenzen der Farben im Spectrum.* Amtl. Ber. d. Naturf.-Vers. Hannover.

**1867.**

3968. J. B. Listing. *Ueber die Grenzen der Farben im Spectrum.* Pogg. Ann. Bd. S. 564—577.

3969. E. Mandelstamm. *Beitrag zur Physiologie der Farben.* Arch. f. Ophthalm. I (2.) S. 399.

**1869.**

3970. M. Mascart. *Sur la visibilité des rayons ultraviolets.* Compt. Rend. Bd. 68. S. 402—

**1870.**

3971. J. M. Matzdorff. *Ueber unsichtbares Licht.* Kreuznach.

**1872.**

3972. W. Dobrowolsky. *Ueber Empfindlichkeit des Auges gegen verschiedene Spec farben.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 66—74.

3973. — *Zur Kenntnifs über die Empfindlichkeit des Auges gegen die Farbentöne.* A f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 98—103.

3974. Sekulic. *Ultraviolette Strahlen sind unmittelbar sichtbar.* Pogg. Ann. Bd. CXI S. 157—158.

**1874.**

3975. C. Bohn. *Photometrische Untersuchungen (Helligkeit der Farben, Unterschiedsempfind keit, Grenzen der Farbenempfindung u. A.).* Pogg. Ann. Erg.-Bd. VI. S. 386.

**1875.**

3976. A. Cornu. *Sur le spectre normal du Soleil, partie ultraviolette.* Ann. Scien l'Ec. norm. sup. Sér. 3. III. No. 12. S. 421—435. — Arch. des Sc. phys. et n de Genève. LIII. No. 209. S. 50—68.

3977. L. Sauer. *Experimente über die Sichtbarkeit ultravioletter Strahlen.* Pogg. Bd. 155. S. 602-615. — Progr. d Realschule in Stettin.

**1877.**

3978. W. v. Bezold. *Ueber die Fluorescenz der Netzhaut.* Münch. Ber. math.-phys. 7. Juli.

3979. A. Chodin. *Ueber die Abhängigkeit der Farbenempfindungen von der Licht* Preyers Samml. Physiol. Abh. I. Reihe. Heft 7. Jena. Dufft. S. 38—44.

**1878.**

3980. Klug. *Untersuchungen über die Diathermanie der Augenmedien.* Arch. f. Ana Physiol. Heft 3 u. 4.

**1879.**

3981. Soret. *Sur la transparence des milieux de l'oeil pour les rayons ultraviolets.* C Rend. Bd. 88. No. 20. S. 1013—1015. Arch. génér. de méd. Juli.

**1880.**

3982. O. N. Rood. *Newtons use of the term Indigo with reference to colour of the spe* Sill. Journ. (3.) XIX. S. 135—137.

**1882.**

3983. Th. W. Engelmann. *Prüfung der Diathermanität einiger Medien mittelst Bac photometricum.* Utrecht. Onderzoek. Derd. R. VII. S. 291. Pflüger's Arch. X S. 125—128.

1883.

84. DE CHARDONNET. *Pénétration des radiations actiniques dans l'oeil de l'homme et des animaux vertébrés et sur la vision des radiations ultraviolettes.* Séance de l'acad. des sc. Februar. XCVI. S. 441.

85. — *Visions des radiations ultraviolettes.* Compt. Rend. Bd. 96. S. 509—511.

86. E. MASCART. *Remarque sur la communication de M. de Chardonnet (Vision des radiations ultraviolettes).* Compt. Rend. Bd. 96. S. 571.

87. B. O. PEIRCE. *On the sensitiveness of the eye to slight differences of color.* Sill Journ. (3.) XXVI. S. 299.

88. SORET. *Sur l'absorption des rayons ultra-violets par les milieux de l'oeil et par quelques autres substances.* Compt. Rend. Bd. 97. S. 572—575. — Arch. des sc. phys. (3.) X. S. 183 u. 429.

89. — *Sur la visibilité des rayons ultraviolettes.* Compt. Rend. Bd. 97. S. 314—316.

1884.

90. A. GAYET. *Sur le pouvoir absorbant du cristallin pour les rayons ultraviolettes.* Soc. franç. d'Ophthalm. S. 188. — Rec. d'Ophthalm. S. 169.

91. A. KÖNIG und C. DIETERICI. *Ueber die Empfindlichkeit des normalen Auges für Wellenlängen-Unterschiede des Lichtes.* Wiedem. Ann. XXII. S. 579. — Gräfe's Arch. XXX. (2.) S. 171—184. — Verhandl. d. physik. Ges. zu Berlin. 22. Februar u. 7. März.

92. B. O. PEIRCE. *Empfindlichkeit des Auges für minimale Farbenunterschiede.* Americ. Journ. of Sc. XXVI. S. 299.

93. C. S. PEIRCE und J. JASTROW. *On small differences of sensation.* Mem. of the Nat. Acad. of Sc.

94. ZENGER. *Sur la visibilité des rayons ultraviolets à l'aide du parallelépipède de dispersion.* Compt. Rend. Bd. 98. S. 1017.

1886.

95. E. BRODHUN. *Ueber die Empfindlichkeit des Auges für Wellenlängenunterschiede des Lichtes.* Verhandl. d. Physiol. Ges. zu Berlin. Jahrg. 1885/86. No. 17 u. 18.

96. W. DOBROWOLSKY. *Ueber die Empfindlichkeit des normalen Auges gegen Farbentöne auf der Peripherie der Netzhaut.* Graefe's Arch f. Ophthalm. XXXII. (1.) S. 9—32.

97. WEBSTER, FOX und G. W. GOULD. *Retinal insensibility to ultra-violet and infra-red rays.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 345.

1889.

98. W. UHTHOFF. *Ueber die zur Erzeugung eben merklicher Farbendifferenzen erforderlichen Aenderungen der Wellenlänge spectralen Lichtes.* du Bois' Arch. S. 171.

99. — *Ueber die Unterschiedsempfindlichkeit des normalen Auges gegen die Farbentöne im Spectrum.* Arch. f. Ophthalm. XXXIV. (4.) S. 1.

00. J. WIDMARK. *Ueber den Einfluss des Lichtes auf die vorderen Medien des Auges.* Skand. Arch. f. Physiol. I. S. 246.

1890.

01. J. WIDMARK. *De l'influence de la lumière sur le cristallin.* Biolog. fören. förhdl. Stockholm. II. No. 8.

02. — *Ueber die Einwirkung des ultravioletten Lichts auf's Auge.* Nord. ophthalm. Tidsskr. III. S. 61.

03. — *Ueber die Durchdringlichkeit der Augenmedien fur ultraviolette Strahlen.* Nord. ophthalm. Tidsskr. III. S. 121.

1891.

04. J. WIDMARK. *Ueber die Durchlässigkeit der Augenmedien fur ultraviolette Strahlen.* Skand Arch. f. Physiol. III. S. 14—47. (Beitr. z. Ophthalm. Leipzig, Veit & Co.)

1892.

05. E. BRODHUN. *Ueber die Empfindlichkeit des grunblinden und des normalen Auges gegen Farbenänderung im Spectrum.* Zeitschr. f. Psychol. III S. 97—117.

06. G. J. STONEY. *On the appreciation of ultra-visible quantities and on a gauge, to help us to appreciate them.* Philos. Magaz. 5.' XXXIV. S. 415—429. — Scientif. Proc. of the R. Dublin Soc. VII. S 530.

07. J. WIDMARK. *Ueber den Einfluss der ultravioletten Strahlen des Lichtes auf die vorderen Medien des Auges.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 17.

## 5. Farbenharmonie und Vergleich mit den Tonintervallen.

**1704.**

4008. I. Newton. *Optics.* Lib. I. Pars 2. Prop. 3.

**1725 und 35.**

4009. L. B. Castel. *Clavecin oculaire.* Journ. de Trevoux.

**1737.**

4010. de Mairan in Mém. de l'Acad. des Sc. S. 61.

**1772.**

4011. J. H. Lambert. *Farbenpyramide.* Augsburg. § 19.
4012. Hartley in Priestley's Geschichte der Optik. S. 549.

**1802.**

4013. Th. Young in Phil. Trans. S. 38.

**1817.**

4014. Field. *An essay on the analogy and harmony of colours.* London.

**1852.**

4015. Drobisch. Abhandl. d. sächs. Ges. d. Wiss. II. Sitzgs.-Ber. derselben Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 519—526.
4016. Unger. *Untersuchungen über das Gesetz der Farbenharmonie.* Pogg. Ann. LX S. 121—128. — Compt. Rend. XL. S. 239.

**1853.**

4017. Drobisch. *Ueber die Wellenlängen und Oscillationszahlen der farbigen Stra Spectrum.* Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 519—526.

**1854.**

4018. Unger. *Disque chromharmonique pour servir à expliquer les règles de l'th des couleurs.* Göttingue.

**1855.**

4019. H. Helmholtz. *Zusatz zu einer Abhandlung von E. Esselbach: Ueber die l der Wellenlänge des ultravioletten Lichtes.* Sitzgs.-Ber. d. Acad. d. Wiss. zu S. 760. — Inst. 1856. S. 222.
4020 J. J. Oppel. *Ueber das optische Analogon der musikalischen Tonarten.* Jah d. Frankf. Vers. 1854—1855. S. 47—55.
4021. E. Chevreul. *Remarques sur les harmonies des couleurs.* Compt. Ren S. 239—242. Edinb. Journ. (2.) I. S. 166—168.

**1858.**

4022. Unger. *Die bildende Kunst, ästhetische Betrachtungen über Architectur, S und Malerei für Künstler und Kunstfreunde.* Göttingen.

**1869.**

4023. Ballu. *Aperçu sur un projet de musique optique.* Compt. Rend. Bd. 68. S. 87

**1870.**

4024. W. Preyer. *Die Verwandtschaft der Töne und Farben.* Jen. Zeitschr. f. l Naturwiss. S. 376—388.

**1873.**

4025. J. Aitken. *On harmony of colour.* Trans. of the Roy. Scottish Soc. of A

**1875.**

4026. Th. W. Cave. *The revised theory of light. I. The principles of the harm colour.* London. Smith, Elder & Co.

**1876.**

4027. J. Plath. *Ueber die Versuche einer Farbenharmonielehre nach akustischen Pri* Progr. d. Klosterschule Rofsleben.

**1879.**

4028. Schassler. *Harmonische Farbenverbindungen.* Westermann's Monatsh. No. l
4029. Sully. *Harmony of colours.* Mind. No. 14. April.

**1885.**

4030. A. Rosenstiehl. *Les lois de la vision et l'harmonie des couleurs.* La Nature (1.) S. 263—266.

**1891.**

4031. Ch. Henry. *Harmonies de formes et de couleurs. Démonstrations pratiqu le rapporteur esthétique et le cercle chromatique.* Paris. A. Hermann. 65 S.

## Der Farbensinn bei Thieren und verschiedenen Völkerstämmen. — Die historische und individuelle Entwickelung des Farbensinnes.


**1810.**

12. Böttiger. *Die aldobrandinische Hochzeit.* Dresden. S. 128.

**1836.**

13. Wiegmann. *Die Malerei der Alten in ihrer Anwendung und Technik.* Hannover. S. 210.

**1858.**

14. W. E. Gladstone. *Studies on Homer and the Homeric age.* Vol. III. § 4. Oxford.

**1861.**

15. F. Dieterici. *Die Naturbeschreibung und Naturphilosophie der Araber im zehnten Jahrhundert.* S. 85.

**1867.**

16. L. Geiger. *Ueber den Farbensinn der Vorzeit und seine Entwickelung.* Tagebl. d. dtsch. Naturf. u. Aerzte. Anh. S. 51—57.

17. — *Ueber den Farbensinn im Alterthum.*

**1869.**

18. P. Bert. *Sur la visibilité des divers rayons du spectre pour les animaux.* Mon. Scient. S. 827. — Compt. Rend. Bd. 69. S. 363.

**1871.**

19. L. Geiger. *Ueber den Farbensinn der Urzeit und seine Entwickelung.* Stuttgart.

10. — *Zur Entwickelungsgeschichte der Menschheit.* Cap. 3. Stuttgart.

**1876.**

11. W. Jordan. *Die Farben bei Homeros.* Jahrb. f. klass. Philolog. CXIII.

**1877.**

2. E. Javal. *De l'évolution dans le sens de la vue.* Gaz. hebdom. S. 463. — Gaz. d. Hôpit. S. 678.

3. W. E. Gladstone. *The colour sense.* Nineteenth Century, Oct.

4. H. Magnus. *Die geschichtl. Entwickelung des Farbensinnes.* Leipzig. Günther. 56 S. — Kosmos. Bd. 1.

5. — *Die Entwickelung des Farbensinnes.* Jena. 22 S.

6. H. Schmidt. *Ueber die allmähliche Entwickelung des sinnlichen Unterscheidungsvermögens der Menschheit.* Berlin. 29 S.

7. R. Smith. Nature. 6. Dec. 1877.

8. A. R. Wallace. *Colour in animals and plants.* Macmillan's Mag. Oct.

**1878.**

9. G. Allen. *The colour-sense its origin and development.* Mind. Jan. 1878.

0. Andrée. *Ueber den Farbensinn der Naturvölker.* Zeitschr. f. Ethnolog. Jahrg. X.

1. Blackie. *On Gladstone's theory of colour-sense in Homer.* Proc. Roy. Soc. Edinb. 1877—1878. S. 533.

2. F. Boll. *La evoluzione dei Colori.* La rassegna settimanale di politica, scienze, lettere ed arti. Vol. 2 No. 9.

3. H. Cohn. *Ueber Contrastfarbenempfindung und die Unwahrscheinlichkeit ihrer Entstehung in historischer Zeit.* Allg. med. Centralzeitg. S. 399.

4. Delitzsch. *Der Talmud und die Farben.* Nord u. Süd. XII. S. 254—267.

5. Dor. *De l'évolution historique du sens des couleurs.* Paris. Masson. 19 S.

6. — *Zur geschichtlichen Entwickelung des Farbensinnes.* Ber. üb. d. Vers. d. Heidelb. Ophthalm. Ges. S. 120—129. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Beil. z. Augusthft.

7. W. E. Gladstone. *Der Farbensinn mit besonderer Berücksichtigung der Farbenerkenntnifs des Homer.* Breslau. Kern. 47 S.

8. Gunther. *Der Farbensinn des menschlichen Auges in seiner geschichtlichen Entwickelung.* Augsburger Allgem. Ztg. Beil. No. 62.

9. E. Hackel. *Ursprung und Entwickelung der Sinneswerkzeuge.* Kosmos. November.

0. S. Kalischer. *Zur Ausbildung der menschlichen Sinne.* Gegenwart. No. 38.

1. E. Krause. *Die geschichtliche Entwickelung des Farbensinnes.* Kosmos. I. S. 264—275 u. S. 248.

2. Low. *Ueber die Farbenbezeichnungen in den Indianersprachen.* Sitzgs.-Ber. d. Münch. Anthropol. Ges.

4063. H. Magnus. *Zur Entwicklung des Farbensinnes.* Klin. Monatsbl. f. Augenheill XVI. S 465—477.
4064. — *Bemerkungen über Untersuchung und Erziehung des Farbensinnes.* Dtsch. m Wochenschr. No. 42.
4065. — *Histoire de l'évolution du sens des couleurs.* Paris, Reinwald & Co. 130 S.
4066. — *Entgegnung auf Herrn Krause's Aufsatz: Die geschichtliche Entwickelung Farbensinnes.* Kosmos. I. S. 423—432.
4067. — *Ueber systematische Erziehung des Farbensinnes in den Schulen.* Compt. Re Bd. 87. S. 132—137.
4068. Magnus u. Pechuël-Lösche. *Fragebogen zur Ausfüllung behufs Lösung des Proble Bis zu welchem Grade die Naturvölker die Farben empfinden und durch Benenn unterscheiden, wie die Culturvölker.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XVI. S. 3
4069. W. Pole. *Colour-blindness in relation to the homeric expressions for colour.* Natu Octbr. 24 u. 31.
4070. W. Zehender. *Nachschrift zu dem Aufsatz des Herrn Magnus: Zur Entwickel des Farbensinnes.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XVI. S. 478—481.
4071. *Der Farbensinn des menschlichen Auges in seiner geschichtlichen Entwickelung.* Aug Allg. Ztg. No. 62. Beil.

1879.

4072. Grant Allen. *Colour-Sense in Insects, its development and reaction.* Proc. R Inst. Gr. Brit. S. 201.
4073. — *The Colour-Sense; its Origin and Development.* London, Trübner & Co.
4074. Almquist. *Studier öfver Tschuktschernas färgsinne.* Kongl. Vetenskaps. Ak Förh. 9. Novbr. Deutsch: *Studien über den Farbensinn der Tschuktschen.* (Uebe v. Magnus.) Bresl. ärztl. Zeitschr. No. 14. 1880.
4075. — *Color-Sense of Natives at Mouth of Yenissi.* Nordenskiöld's Ar Voyages. London. S. 376.
4076. Antonow. *Darwin'sche Hypothese der Evolution der Farbenempfindungen.* Aer Blätt. No. 396.
4077. H. Cohn. *Ueber quantitative Farbensinn-Bestimmungen bei Europäern und Nubie* Allg. med. Centralztg. 30. Aug.
4078. — *Sehschärfe und Farbensinn der Nubier.* Centralbl. f. Augenheilkde I S. 187—200.
4079. Delboeuf. *Les sens et les couleurs chez les animaux.* Rev. Sient. May 24.
4080. Dor. *The historical Evolution of the Sense of Colour.* Englisch v. Clarke. Ed med. Journ. Bd. 293. Novbr.
4081. H. T. Finck. *Development of the color-sense.* Macmillan's Mag. 1879.
4082. Gatschet. *Adjectives of color in Indian languages.* The americ. Naturalist. A Zeitschr. f. Etholog. XI. Hft. 4 u. 5.
4083. J. Geoffroy. *De la connaissance des couleurs dans l'antiquité, examen de la th de Dr. Magnus.* Union méd. No. 82 u. 86.
4084. E. Haeckel. *Ursprung und Entwicklung der Sinnesorgane.* Ges. popul. V II. Hft. Bonn. 121 S.
4085. S. Kalischer. *Ueber methodische Erziehung der Sinnesorgane, im Besondern Farbensinnes.* Ausland. No. 36.
4086. — *Die Erziehung der menschlichen Sinne, insbesondere des Farbensinnes.* Gegenw XVI. No. 32.
4087. A. Kirchhoff. *Ueber Farbensinn und Farbenbezeichnung der Nubier.* Zeitsch Ethnolog. XI. (6.) S. 397. — Mitth. d. Ver. f. Erdkde. zu Halle a/S. S. 53.
4088. L. Kotelmann. *Die Augen von 9 Lappländern, 3 Patagoniern, 13 Nubiern und 1 N vom weissen Nil.* Berl. klin. Wochenschr. No. 47.
4089. H. Magnus. *Die methodische Erziehung des Farbensinnes.* Breslau, Kern. 1 Fa Taf. u. 72 Farb.-Kärtch.
4090. — *Ueber methodische Erziehung der Sinnesorgane, insbesondere des Farbensin* Ausland. No. 36.
4091. Marty. *Die Frage nach der geschichtlichen Entwickelung des Farbensinnes.* Wien, Ger
4092. Murphy, Craig-Cristic, Brewin, Ingleby, Hardmann. *Shakespeare's Co Names.* Nature. XIX. No. 479—483.
4093. Nachtigal. *Farbenbezeichnungen der Nubier.* Verb. d. Berl. Ges. f. Anthrop S. 452—455.

4094. H. Scholer. *Ueber die Stellung der Ophthalmologie zur Anthropologie.* Virchow's Arch. f. pathol. Anat. Bd. 78.
4095. Schroder. *Die Entwickelung des Farbensinnes am menschlichen Auge.* Berl. klin. Wochenschr. No. 36 u. 37.
4096. Stein. *Sehschärfe und Farbensinn der Nubier.* Frankf. Ztg. No. 213.
4097. v. Strauss u. Torney. *Bezeichnung der Farben Blau und Grün im chinesischen Alterthum.* Zeitschr. d. dtsch. morgenl. Ges. XXXIV. (3.) S. 502—508.
4098. R. Virchow. *Die Erziehung des Farbensinnes.* Ber. d. Berl. Ges. f. Anthropol. S. 8.
4099. — *Verzeichnifs der Farbenbezeichnungen in lappischer Sprache.* Verh. d. Berl. Ges. f. Anthropol. S. 148.
4100. — *Farbensinn der Lappländer.* Ber. d. Berl. Ges. f. Anthropol., Ethnolog. u. Urgesch. Sitzgs.-Ber. v. 15. März. S. 64.
4101. — *Farbensinn der Nubier.* Verh. d. Berl. Ges. f. Anthropol. S. 389.
4102. — *Die in Berlin anwesenden Nubier der Hagenbeck'schen Karawane.* Sitzgs.-Ber. d. Ges. f. Anthropol., Ethnol. u. Urgesch. S. 44.
4103. A. Wallace. Nature. XIX. S. 501.

1880.

4104. Gr. Allen. *Der Farbensinn, sein Ursprung und seine Entwickelung.* Deutsch und mit Einleitung von E. Krause. Leipzig.
4105. Almquist und Magnus. *Studien über den Farbensinn der Tschuktschen.* Breslauer ärztl. Zeitschr. No. 14.
4106. Andree. *Ueber den Farbensinn der Naturvölker.* Globus. XXXVIII. S. 10.
4107. J. Chatin. *Sur la valeur comparée des impressions monochromatiques chez les Invertébrés.* Compt. Rend. XC. 1. S. 41.
4108. — *Action des lumières colorées sur l'appareil optique des crustacées.* Gaz. de Paris. No. 28. S. 363.
4109. E. Dreher. *Ueber den Farbensinn der Griechen.* Dtsch. Lesehalle. No. 25.
4110. Espinas. *Le sens de la couleur, son origine et son développement.* Rev. philos. No. 2.
4111. Gunther. *Der Farbensinn, sein Wesen und seine Entwicklung.* Diss. München.
4112. — *Ein Problem der physiologischen Physik in seinen Beziehungen zur Ethnologie.* Kosmos. Heft 8. Nov.
4113 L. Hartmann. *Farbensinn bei den Naturvölkern.* Zeitschr. f. Ethnolog. XII. S. 183.
4114. F. Holmgren. *Beitrag zur Beleuchtung der Frage über die historische Entwickelung des Farbensinnes.* Upsala. Lakaref. Förh. XV. S. 222—259.
4115. A. Kirchhoff. *Noch einmal die Farbenbezeichnungen der Nubier.* Mitth. d. Ver. f. Erdkde. zu Halle a/S.
4116. H. Magnus. *Untersuchungen über den Farbensinn der Naturvölker mit einem chromolithographischen Fragebogen.* Jena. Preyer's Samml. physiol. Abh. II. (7.)
4117. Rabl-Ruckhard. *Zur historischen Entwickelung des Farbensinnes.* Berl. anthropol. Ges. 22. Mai. — Zeitschr. f. Ethnolog Hft. 4.
4118. A. v. Reuss. *Ueber die Wichtigkeit der Erziehung des Farbensinnes.* Wien. med. Presse. XXI. No. 26 u. 28.
4119. H. Scholer. *Ophthalmologische Untersuchungen an Nubiern und Negern.* Zeitschr. f. Ethnolog. XII. 1. S. 59—68.
4120. J. N. Stack. *Color-sense of the Maori.* Nature. XXII. S. 194.
4121. Stinde. *Die angebliche Blaublindheit der Urvölker.* Gegenwart. No. 38.

1881.

4122. J. Chatin. *Contributions expérimentales à l'étude de la chromatopsie chez les Batraciens, les Crustacés et les Insectes.* Paris, Gauthier-Villars.
4123. A. Kirchhoff. *Zur Frage über den Farbensinn der Naturvölker.* Dtsch. Rev. März.
4124. Kroner. *Der Talmud und die Farben.* Augsb. Allg. Ztg. No. 256. Beil.
4125. P. v. Seydewitz. *On Color-Blindness and the development of the Color Sense.* New-Orleans med. and surg. Journ. IV. 2. S. 81.

1882.

4126. Birgham. *Farbensinn und Farbenblindheit bei den Hawaiern.* Ausland. No. 17.
4127. Colenso. *On the perception of Colours by the ancient Maoris.* New Zealand Inst. XIV. S. 49.
4128. Th. W. Engelmann. *Bacterium photometricum. Ein Beitrag zur vergleichenden Physiologie des Licht- und Farbensinnes.* Utrecht'sche Unters. Derde Reeks. VII. S. 252. Pflüger's Arch. XXX. S. 95—124.

4129. Th. W. ENGELMANN. *Ueber Licht- und Farbenperception niederster Organis* Pflüger's Arch. Bd. 29. S. 387. Arch. Néerl. V. S. 417.
4130. — *Farbe und Assimilation.* Utrecht'sche Unters. Derde Recks. VII. S. 209. A 1883. Néerl. (1.) S. 29.
4131. A. FLINKER. *Ueber den Farbensinn der Thiere.* Wien. med. Wochenschr. No
4132. L. W. FOX. *Examination of Indians at the Governement School in Carlisle. acuteness of vision and color-blindness.* Philad. M. Times. XII. S. 386.
4133. A. GENZMER. *Untersuchungen über die Sinneswahrnehmungen des neugeborenen Mensch* Halle.
4134. J. GEOFFROY. *De la connaissance et de la denomination des couleurs dans l'antiqu* Mém. de la Soc. d'anthropol. de Paris. (2.) II. (3.) S. 281.
4135. KELLER. *Ueber den Farbensinn der Mollusken.* Wolf's Zeitschr. XXVI. S. 100—1
4136. LOBZ. *Die Farbenbezeichnungen bei Homer mit Berücksichtigung der Frage Farbenblindheit.* Jahresber. d. Gymnas. in Arnaw.
4137. R. W. LOVETT. *The development of senses.* Pop. Sc. Month. New-York. XXI. S.
4138. J. LUBBOCK. *On the sense of colour among some of the lower animals.* Natu XXV. S. 422.
4139. — *On the development of the color-sense.* Fortnightly Rev. London. XXXI. S. 518. Littel's Liv. Age. May 13.
4140. C. ROBERTS. *Colour-blindness as a racial character.* Lancet. I. S. 124.
4141. J. SOURY. *Développement du sens des couleurs chez l'enfant, le sauvage et le barb* Républ. franç. 27. Juni.
4142. — *Nouvelles recherches sur le sens des couleurs dans la série animale.* Répu franç. No. 30.

1883.

4143. GRANT ALLEN. *Naturstudien; Bilder zur Entwickelungslehre.* Uebersetzt v E. Huth. Leipzig.
4144. V. GRABER. *Fundamentalversuche über die Helligkeits- und Farbenempfindlichkeit au loser und geblendeter Thiere.* Sitzgs.-Ber. d. k. Akad. d. Wiss. Bd. 87. (1.) S
4145. A. KIRCHHOFF. *Die Farbenbezeichnung der Samojeden und Queensland - Austra nebst vergleichendem Hinblick auf diejenige der Nubier und Ainos.* Ausland. No.
4146. J. LUBBOCK. *On the sense of colour among some of the lower animals.* Journ. Li Soc. Zool. XVI. S. 121. — Nature. XXVII. S. 618
4147. H. MAGNUS. *Die Farbenempfindung des Kindes.* Dtsch. Rev. VIII. S. 124.
4148. — *Ueber ethnologische Untersuchungen des Farbensinnes.* Virchow u. Holtzend Samml. wiss. Vortr. Hft. 420.
4149. MOUGEOLLE. *La linguistique et le sens des couleurs.* Rev. Scient. II. S. 715.
4150. S. OTTOLENGHI. *Il senso cromatico negli Israelite.* Osservatore. Turin.

1884.

4151. C. C. ABBOT. *Colour-sense in fishes.* Science. IV. S. 336—339.
4152. G. B. BONO. *L'evoluzione storica del senso cromatico.* Gaz. delle Cliniche. XX
4153. V. GRABER. *Grundlinien zur Erforschung des Helligkeits- und Farbensinn Thiere.* Leipzig.
4154. HOCHEGGER. *Die geschichtliche Entwickelung des Farbensinnes.* Psychologische St Innsbruck. 134 S.
4155. A. KIRCHHOFF. *Die Farbenbezeichnungen der Singhalesen und Araukaner.* Ausla LVII. S. 256.
4156. L. KOTELMANN. *Die Augen von 23 Singhalesen und 3 Hindus.* Berl. klin. Woch schr. S. 164 u. 395.
4157. — *Die Augen von 22 Kalmücken.* Zeitschr. f. Ethnolog.

1885.

4158. V. GRABER. *Ueber die Helligkeits- und Farbenempfindlichkeit einiger Meerthie* Wien. Ber. Bd. 91. 1. Abth. S. 129—153.
4159. J. HOGG. *Homer colour-blind.* Journ. of scienc. London. (3.) VII. S. 313
4160. F. HOLMGREN. *Ueber den Farbensinn fremder Völker; Zusammenstellung von Karl Rudbergs Untersuchungen auf der Weltreise der Fregatte Vanadis.* Ups Läkaref. Föhr. XXI. S. 83—96.
4161. A. DE KEERSMAECKER. *Le Sens des Couleurs chez Homère.* London. Trübner.
4162. A. KÖNIG. *Ueber den Gesichtssinn der Zulukaffern.* Verh. d. Berl. Physik. Ges S. 15—17.

**1886.**

63. A. Forel. *Les fourmis perçoivent-elles l'ultraviolet avec leurs yeux ou avec leur peau?* Compt. Rend. de la soc. helvét. des scienc. nat. S. 128.
64. H. de Varigny. *Le développment des sens, chez l'enfant, d'après M. Preyer.* Rev. Scientif. XXXVIII. S. 401.

**1887.**

65. A. Flinker. *Ueber den Farbensinn der Thiere.* Wien. med. Wochenschr. No. 9.
66. Handl. *Ueber den Farbensinn der Thiere und die Vertheilung der Energie im Spectrum.* Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad. d. Wiss. XCIV. 2. Abth. S. 985.

**1888.**

67. Deneffe. *De la perfectibilité du sens chromatique dans l'espèce humaine.* Bull. de l'Acad. roy. de Méd. de Belg. (4.) II.
68. G. Pouchet. *La prétendue évolution du sens des couleurs.* Rev. Scient. S. 464.

**1889.**

69. G. Albertotti. *Osservazioni sopra dipinti per rilevare alterazioni nella funzione visiva degli artisti.* Modena.
70. L. J. Blake u. W. S. Franklin. *Colour-blindness a product of civilization.* Science. XIII. S. 170.
71. A. M. Fielde. *Color-sense and color-blindness among the Chinese.* Med. and. Surg. Rep. Philad. S. 651.

**1890.**

72. A. M. Fielde. *Colour-sense and colour-blindness among the Chinese.* China med. Miss. Journ. Shanghai. IV. S. 61.
73. H. K. Wolfe. *The color-vocabulary of children.* Univ. Studies Nebraska III.
74. *Colour-Sense among the Chinese.* China med. Miss. Journ. — New-York med. Journ. LII. No. 8. S. 214.
75. *Colour vision; defective in the mercantile marine.* Brit. med. Journ. No. 1560. S. 1215

**1892.**

76. H. Blümner. *Die Farbenbezeichnungen bei den römischen Dichtern.* Berl. Stud. f. klass. Philol. u. Archäol. Bd. 13. Hft. 3. Berlin, S. Calvary & Co. 231 S.

**1894.**

77. A. Angelucci. *La funzione visiva dei vecchi e i suoi effetti sull' impiego del colore in pittura.* Arch. di Ottalm. II. S. 3 u. 69.
78. Garbini. *Evolution du sens des couleurs dans l'enfance.* Arch. per l'antropol. e la etnolog. XXIV. (1.)
79. W. A. Nagel. *Beobachtungen über den Lichtsinn augenloser Muscheln.* Biol. Centralbl. XIV. S. 385.
80. — *Ein Beitrag zur Kenntnis des Lichtsinns augenloser Thiere.* Biol. Centralbl. XVI. S. 810—813.

---

## § 20.

# Die zusammengesetzten Farben.

Es gehört hierhin auch ein Theil der Litteratur von § 19.

### 1. Aeltere Litteratur über normales Farbensehen und über Farbentheorien.

**1519.**

81. Leonardo da Vinci. *Trattato della pittura.* Paris. 1651.

**1686.**

82. R. Waller. *A catalogue of simple and mixte colours.* Philos. Trans.

**1704.**

83. J. Newton. *Optice* Lib. I. P. II. Prop. IV—VI.

**1735.**

84. J. C. le Blond *Il Colorito* London

1737.

4185. DU FAY. Mém. de l'Acad. roy. de Paris.

1758.

4186. T. MAYER. In Göttinger gelehrte Anz. St. 147.

1772.

4187. J. H. LAMBERT. *Beschreibung einer Farbenpyramide.* Berlin.

1792.

4188. WÜNSCH. *Versuche und Beobachtungen über die Farben des Lichts.* Leipzig. Gilbert's Ann. XXXIV. 10.

1807.

4189. TH. YOUNG. *Lectures on natural philosophy.* London.

1808.

4190. M. OPOIX. *Théorie des couleurs.* Paris.

1810.

4191. RUNGE und STEFFENS. *Farbenkugel oder Construction der Verhältnisse a Mischungen der Farben und Bedeutung der Farben in der Natur.* Hamburg.

1816.

4192. A. SCHOPENHAUER. *Ueber das Sehen und die Farben.* Leipzig.

1826.

4193. HIORT. *De functione retinae.* Dissertatio. Christiania.

1829.

4194. J. PLATEAU. *Dissertation sur quelques propriétés des impressions produites par la lum sur l'organe de la vue.* Lüttich.

1830.

4195. A. SCHOPENHAUER. *Ueber das Sehen und die Farben.* Lat. Uebersetz. in Rad Scriptores ophthalm. min. Comment. XXI exponens theoriam colorum physiologic

4196. CRINUM. *Properties of the primary colors etc.* London.

1836.

4197. CHALLIS. *Theoretische Auslegung einiger Thatsachen, die Zusammensetzung Farben des Spectrums betreffend.* Pogg. Ann. XXXVII. S. 528.

1838.

4198. A. W. VOLKMANN. J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 373.

1839.

4199. LICHTENBERGER. *Observationes quaedam de spectris objectorum extra fines v distincti positorum.* Diss. Leipzig.

4200. MILE. *Ueber die Empfindung, welche entsteht, wenn verschiedenfarbige Lichtstral auf dieselben Stellen der Retina eines einzigen Auges fallen.* Müllers Arch. f. A u. Physiol. S. 64.

4201. D. R. HAY. *Nomenclature of colours.*

4202. SZOKALSKI. *Essai sur les sensations des couleurs.* Ann. d'Ocul. II. S. 11. III. S

1843.

4203. J. MÜLLER. *Zusammensetzung des weifsen Lichts aus den verschiedenen Farb* Pogg. Ann. LVIII. S. 358 u. 518.

1847.

4204. H. W. DOVE. *Ueber die Methoden, aus Complementärfarben Weifs darzustellen, und über Erscheinungen, welche polarisirtes Licht zeigt, dessen Polarisationsebene gedreht w* Berliner Monatsber. 1846. S. 70. Philos. Mag. XXX. S. 465. Inst. No 7 S. 176. Arch. d. sc. phys. et nat. V. S. 276.

4205. — *Ueber die Darstellung des Weiss aus Complementärfarben und über optischen Erscheinungen, welche in rotirenden Polarisationsapparaten sich zeig* Pogg. Ann. Bd. 71. S. 97.

4206. E. CHEVREUL. *Exposé d'un moyen de définir et nommer les couleurs d'après u méthode rationelle et expérimentale.* Quesneville rev. scient. XXIX. S. 382. Com Rend. XXXII. S. 693. Inst. No. 906. S. 155. Dingl. polyt. Journ. CXXI. S. 3 Athen. 1851. S. 272.

1848.

4207. E. BRÜCKE. *Ueber das Wesen der braunen Farbe.* Pogg. Ann. LXXIV. S. 461. Phil Mag. XXXIII. S. 281. Inst. No. 785. S. 21.

4208. E. HARLESS. *Physiologische Beobachtung und Experiment.* Nürnberg. S. 45. (E Farbe durch die andere gesehen.)

209.* Chr. Doppler. *Versuch einer systematischen Classification der Farben.* Prag. — Abh. d. böhm. Ges. V. S. 401.

**1849.**

210. J. D. Forbes. *Hints towards a classification of colours.* Philos. Mag. XXXIV. S. 161.

**1851.**

211. E. Brücke. *Untersuchungen über subjective Farben.* Denkschr. d. math.-naturw. Klasse d. Wien. Acad. III.

**1852.**

212. *H. Helmholtz. *Ueber die Theorie der zusammengesetzten Farben.* Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 461—482. Pogg. Ann. LXXXVII. S. 45—66. Philos. Mag. (4.) IV. S. 519—534. Cosmos. II. S. 112—120. Ann. de chim. (3.) XXXVI. S. 500—508. Fechner's Centralbl. 1853. S. 3—9.

213. Ziegler. *Traité de la couleur et de la lumière.*

**1853.**

214. L. Foucault. *Sur la récomposition des couleurs du spectre en teintes plates.* Cosmos. II. S. 232. Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 385—387.

215. *H. Grassmann. *Zur Theorie der Farbenmischung.* Pogg. Ann. LXXXIX. S. 69—84. Philos. Mag. (4.) VII. S. 254—264.

216. Holtzmann. *Apparat zur Darstellung von Farbenmischungen.* Tagebl. d. dtsch. Naturforscherversammlung.

217. J. Plateau's *Reclamation.* Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 172—173. Cosmos. II. S. 241. Fechner. Centralbl. S. 365.

218. H. Helmholtz. *Ueber die Zusammensetzung der Spektralfarben.* Pogg. Ann. XCIV. S. 1—28. Athen. S. 1197—1198. Cosmos. III. S. 573—575. Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 5. Ann. de chim. (3.) XLIV. S. 70—74. Arch. d. sc. phys. XXIX. S. 242.

**1854.**

219. J. Grailich. *Beitrag zur Theorie der gemischten Farben.* Wien. Ber. XII. S. 783 bis 847. XIII. S. 201—284.

220. J. Czermak. *Physiologische Studien.* Wien. Ber. XII. S. 322. § 6 u. XVII. S. 565.

221. A. Schopenhauer. *Ueber das Sehen und die Farben.* 2. Aufl. Leipzig.

**1855.**

222. *J. C. Maxwell. *Experiments on colour, perceived by the eye, with remarks on colour blindness.* Edinb. Trans. XXI. S. 275—297. Edinb. Journ. (2.) I. S. 359—360. Proc. of Edinb. Soc. III. S. 299—301. Philos. Mag. (4.) XIV. S. 40.

223. G. Wilson. *Observations on Mr. Maxwell's paper.* Edinb. Journ. (2.) I. S. 361.

224. J. D. Forbes. *Observations on Mr. Maxwell's paper.* Edinb. Journ. (2.) I. S. 362.

225. T. v. Doesburgh. *Over kleurmenging en kleurmeting.* Utrecht.

226. — *De colorum mixtione et dimensione.* Inaug.-Diss. Utrecht.

**1856.**

227. H. Czolbe. *Vertheidigung des Euler'schen Begriffes der Farben.* Das Jahrhundert. No. 4. S. 86—96.

228. J. C. Maxwell. *On the theory of compound colours with reference to mixtures of blue and yellow light.* Athen. S. 1093. Edinb. Journ. (2.) IV. S. 335—337. Inst. S. 444. Rep. of British Assoc. 2. S. 12—13.

229. Challis. *On theory of the composition of colours on the hypothesis of undulations.* Philos. Mag. (4.) XII. S. 329—338 u. 521.

230. G. G. Stokes. *Remarks on Challis' paper.* Philos. Mag. (4.) XII. S. 421.

**1857.**

231. H. W. Dove. *Eine Methode, Interferenz- und Absorptionsfarben zu mischen.* Berl. Monatsber. 11. März. — Pogg. Ann. CII.

232. H. Czolbe. *Euler's Begriff der Farben als nothwendiger Hebel, die Schranke der Kant'schen Erkenntnisstheorie zu durchbrechen.* Das Jahrhundert. S. 387—392, 411—416, 437—440, 458—464.

## 2. Aeltere Litteratur über Farbenblindheit.

**1684.**

233. D. Turberville. *Several remarkable cases in physick, relating chiefly to the eyes.* Philos. Trans. No. 164. S. 736—738. Aug. 4 1684. — Lowthrop's Abridgement. Vol. III. part 1. p. 40.

1777.

4234. Huddart. *Of a person which could not distinguish colours.* Philos. Trans. LXV 1. S. 14.

1778.

4235. Whisson. *An account of a remarkable imperfection of sight.* Philos. Trans. Lond. V. LXVIII. S. 611—614.

1779.

4236. *Sur quelques personnes qui ne peuvent distinguer les couleurs.* Observations sur physique par Rozier et Mongez. Paris. Tome XIII. p. 86—88.

1785.

4237. Giros v. Gentilly. *Theorie der Farben.* Lichtenbergs Magazin. I. (2.) S. 5 (Unter dem Pseudonym G. Palmer englisch und französisch erschienen.)

1798.

4238. J. Dalton. *Extraordinary facts relating to the vision of colours.* Memoirs Lit. and Phil. Soc. of Manchester. V. part. I. (read 31. Oct. 1794) — Edinburg Journ. of Sc. IX. p. 97. Neu abgedruckt in Edinburgh Journ. of Sc. V. S. 188. 183

1802.

4239. Kühne. *De chromatopseudopsi.* Berolini.

1810.

4240. J. W. Goethe. *Zur Farbenlehre.* 1. § 103.

1813.

4241. Parry. Med. Trans. Coll. Phys. Vol. IV. S. 56.

1815.

4242. J. T. Sachs. *Eine physiologisch-optische Beobachtung.* (Nach dem Tode des Verfassers veröffentlicht von Prof. Harles.) Meckels deutsch. Arch. f. d. Physiol. Bd. I. S. 188.

1816.

4243. W. Nicholl. *Account of a case of curious imperfection of vision.* Med. chirurg. Trans. VII. S. 477. — Meckels deutsch. Arch. f. d. Physiol. V. S. 260. 1819.

1817.

4244. J. W. Goethe. *Zur Naturwissenschaft und Morphologie.* 1. Heft. S. 297.

1818.

4245. Wardrop. *Essays on the morbid anatomy of the human eye.* II. S. 196. London. — Meckel's deutsches Arch. f. Physiol. V. S. 262. 1819.

4246. W. Nicholl. *Account of a case of defective power to distinguish colours.* Med. chir. Trans. IX. S. 359. — Meckels deutsch. Arch. f. d. Physiol. V. S. 264. 181 — Ann. of Philos. N. S. III. S. 128. 1822.

1819.

4247. J. F. Gall und G. Spurzheim. *Anatomie et Physiologie du système nerveux.* I S. 98. Paris.

1821.

4248. Helling. *Praktisches Handbuch der Augenkrankheiten.* Bd. I. Berlin.

1822.

4249. J. Butter. *Cases of deficiency in the power of perceiving colours.* Tr. Phrenol. S. Edinb. 1822—24. S. 209—222.

4250. — *Remarks on the insensibility of the eye to certain colours.* Edinb. phil. Journ. VI. S. 135—140.

4251. D. Brewster. *Remarks to the preceding paper of Mr. J. Butter.* Edinb. phil. Journ. VI. S. 140—141.

1823.

4252. Sommer. *Chromatopseudopsie.* Gräfe u. Walther's Journ. f. Chir. Bd. V.

1826.

4253. G. Harvey. *On an anormalous case of vision in regard to colours.* Edinb. Phil. Trans. X. S. 253.

1828.

4254. Purkinje. *Achromatopsie.* Berl. Encycl. Wört. d. med. Wiss. Bd. I. S. 259.

4255. J. Herschel. *Art. „Light“* in: Encyclop. metrop. S. 434. § 507.

1829.

4256. Colquhoun. *Unempfindlichkeit der Augen gegen bestimmte Farben.* Froriep Notizen. XXIV. S. 305. (Aus Glasgow. Med. Journ.)

**1832.**

57. D. Brewster. *Letters on natural magic.* London. (S. 44 der deutschen Uebersetzung.)

**1833.**

58. J. Herschel. *Brief an Dalton vom 22. Mai 1833,* abgedr. in Henry: *Memoirs of the life and scientific researches of John Dalton.* London 1854.

**1837.**

59. *A. Seebeck. *Ueber den bei manchen Personen vorkommenden Mangel an Farbensinn.* Pogg. Ann. XLII. S. 177—233.

**1838.**

60. Cunier. *Achromatopsie héréditaire dequis cinq générations.* Ann. d'Ocul. I. S. 417 u. 488.

**1839.**

61. E. Wartmann. *Daltonismus.* Häser's Repetitorium Bd. IV. S. 125.

**1841.**

62. V. Szokalski. *Essai sur les sensations des couleurs dans l'état physiol. et pathol. de l'oeil.* Paris. — Ann. d'Ocul. III. S. 1

**1842.**

63. V. Szokalski. *Ueber die Empfindungen der Farben in physiologischer und pathologischer Hinsicht.* Giefsen.

**1843.**

64. Boys de Loury. *Aberration dans les sensations des couleurs.* Lancette franç. No. 151. — Bull. de Thérap. Vol. XXV. S. 459.

**1844.**

65. Trinchinetti. *Chromatopseudopsie.* Ann. Univ. de Méd. No. 1. Milano.

66. E. Wartmann. *Mémoire sur le daltonisme et la dyschromatopsie.* Mém. soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève X.

**1845.**

67. Herschel. *Light.* Encyc. Metrop. § 507. S. 434.

**1846.**

68. E. Wartmann. *Memoir on Color Blindness.* Taylor's Scientific Memoirs 1846.

69. — *Daltonisme.* Arch. gén. de Méd. févr. — Arch. d'anat. S. 56.

**1848.**

70. Decondé. *Daltonisme dichromatique.* Ann. d'Ocul. XX.

71. d'Hombres-Firmas. Compt. Rend. XXIX. S. 175. XXX. 60. S. 376. Inst. No. 815. S. 259.

**1849.**

72. E. Wartmann. *Sur un phénomène de dyschromatopsie.* Bull. de Brux. XVI. 1. S. 137. — Inst. XVII. No. 799. S. 131.

73. — *Nouvelle mémoire sur le daltonisme.* Mém. soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève. XII.

**1850.**

74. Helfft. *Ueber Achromatopsie etc.* Med. Zeit. d. Ver. f. Heilkde. in Preufsen. XIV. S. 97—99.

75. d'Hombres-Firmas. *Observations d'achromatopsie.* Ann d'Ocul. XXIII. S. 42 u. 127.

**1851.**

76. E. Cornaz. *De l'hyperchromatopsie.* Bruxelles. — Ann. d'Ocul. T. XXV. S. 3.

**1852.**

77. Schnetzler. Arch. d. sc. phys. XXI. S. 251—252.

78. F. Burckhardt. *Beobachtungen an einem Daltonisten.* Verh. der naturf. Ges. in Basel. X. S. 90—93.

**1853.**

79. Eichmann. *Achromatopsie.* Med. Zeit. d. Ver. f. Heilkde in Preufsen. No. 47. S. 224.

80. G. Wilson. Monthly Journ. of med. sc. Nov. 1853 bis Dec. 1854. Edinb. Journ. 2 IV. S. 322—327.

81. C. F. Schönbein. *Ueber Farbenveränderungen.* Wien.

**1854.**

82. Potton. *Recherches sur le daltonisme.* Gaz. de Lyon March 1854. — Arch. d'Ophthalm. I. S. 158 II. S 137. — Arch. génér de Med. S. 617. — L'Union méd. S. 174.

4283. G. Wilson. Proc. of Edinb. Soc. III. S. 226—227.
4284. Eichmann. Fechner's Centralbl. S. 294—295.

1855.

4285. Lembert. *Cas de pseudochromie.* Gaz. hebd. No. 16.
4286. Wilson. *Researches on Colour-Blindness.* Edinburgh.
4287. J. Cl. Maxwell. *On the Theory of Colours in relation to Colour-Blindne* Wilson: *Researches on Colour-Blindness.* Edinburgh. S. 153.

1856.

4288. Bronner. *On Daltonism.* Med. Times and Gaz. April 12.
4289. W. Pole. Proc. of Roy. Soc. VIII. S. 172—177. Philos. Mag. (4.) XIII. S. 282
4290. J. Tyndall. *On a peculiar case of colour blindness.* Philos. Mag. 4 S. 329—333. — Silliman's Journ. (2.) XXII. S. 143—146. — Arch. d. sc. XXXIII. S. 221—225.

## 3. Neuere Litteratur über normales Farbensehen und über Farbenblindheit.

### a) Zusammenfassende Darstellungen der Farbenlehre.

1866.

4291. E. Brücke. *Die Physiologie der Farben für die Zwecke der Kunstgewerbe.* L

1869.

4292. A. Nagel. *Der Farbensinn.* Berlin.

1871.

4293. W. Benson. *Manual of the Science of Color.* London.

1874.

4294. W. v. Bezold. *Die Farbenlehre in Hinblick auf Kunst und Kunstgewerbe.* schweig. 296 S.
4295. Guillemin. *La lumière et les couleurs.* Paris, Hachette. 302 S.
4296. E. Hering. *Zur Lehre vom Lichtsinn. V. Grundzüge einer Theorie des sinnes.* Wien. Ber. (3.) LXIX. S. 179—217.
4297. — *Zur Lehre vom Lichtsinn. VI. Grundzüge einer Theorie des Farben* Wien. Ber. (3.) LXX. S. 169—204.

1876.

4298. A Classen. *Zur Physiologie des Gesichtssinnes.* Jena.

1877.

4299. L. Happe. *Ueber den physiologischen Entwickelungsgang der Lehre von den* Leipzig, Veit & Co. 44 S.
4300. Fr. Holmgren. *Om färgblindheten i dess förhållande till jernvägstrafiken sjöväsendet.* Upsala Läkaref. Förh. XII. S. 171—251. 276—358. Auch als Br

1878.

4301. A. Classen. *Entwurf einer Psychologie der Licht- und Farbenempfindung.* S samml. physiol. Abh. II. Reihe. 2. Heft. Jena. Fischer
4302. E Hering. *Zur Lehre vom Lichtsinn.* 6 Mittheilungen an die kais. Ak Wiss. in Wien. Gerold's Sohn. Wien. 141 S.

1879.

4303. J. Eichler. *Farbenlehre für Schule und Haus.* Wien, Sallmayer. 110 S.
4304. L. Mauthner. *Functionsprüfungen des Auges.* Heft 3. 4 u. 5 der Vorträg dem Gesammtgebiet der Augenheilkunde. Wiesbaden. Bergmann.
4305. O. N. Rood. *Modern Chromatics, with applications to Art and Industry.* New Appleton & Co. 329 S.
4306. Rosenthal. *Die Farbenlehre und ihre Beziehungen zum Kunstgewerbe.* De Revue. Dec. 1879. — Rev. Scien. IX (2.) No. 14. S. 316.
4307. A. v. Wouvermans. *Farbenlehre.* Wien, Hartleben. 160 S.

1880.

4308. O. N. Rood. *Die moderne Farbenlehre mit Hinweisung auf ihre Benutzung Malerei und Kunstgewerbe.* Intern. Bibl. XLI. Leipzig. 350 S.

1881.

4309. H. Magnus. *Farben und Schöpfung.* Breslau, Kern. 270 S.

310. O. N. Rood. *Students' text book of colour.* New-York.
311. — *Théorie scientifique des couleurs et leurs applications à l'art et à l'industrie.* Paris, Germer-Baillière.
312. Volkelt. *Die Farben und die Seele.* Zeitschr. f. Philos. u. philos. Kritik. Bd. 79. Heft 1.

1882.

313. Hauselmann. *Populäre Farbenlehre.* Zürich.
314. J. v. Kries. *Die Gesichtsempfindungen und ihre Analyse.* Leipzig. Zugleich Supplementheft zu Du Bois' Arch.
315. Soury. *Le sens des couleurs.* Philosophie naturelle. Paris, chap. VI.

1883.

316. Th. Petruschefffsky. *Licht und Farbe an und für sich und in ihrem Verhältniß zur Malerei.* St. Petersburg. Selbstverlag. 108 S.
317. M. Schasler. *Die Farbenwelt.* Berlin, Samml. gemeinverst. wiss. Vortr. von Virchow u. v. Holtzendorff. Heft 409, 410 u. 415.

1887.

318. E. Brücke. *Die Physiologie der Farben für die Zwecke der Kunstgewerbe.* 2. Aufl. Leipzig, S. Hirzel. 309 S.

1891.

319. A. v. Wouvermans. *Farbenlehre. Für die practische Anwendung in den verschiedenen Gewerben und in der Kunstindustrie bearbeitet.* 2. Aufl. Wien, Pest und Leipzig, A. Hartleben. 196 S.

1892.

320. E. Hunt. *Colour Vision.* Glasgow, John Smith & Son. 3 plates and 122 pages.

1893.

321. Guaita. *Die Wissenschaft der Farben und die Malerei.* (Italienisch.) Mailand.

1894.

322. L. Mauthner. *Farbenlehre.* 2. Aufl. Wiesbaden, J. F. Bergmann 168 S.

## b) Specielles über normales und anomales Farbensehen.

Weit es nach den Titelangaben möglich war, sind die Abhandlungen, welche die folgenden Abschnitte d), e, f, g) und h) betreffen hier fortgelassen und dort aufgeführt. Es unterliegt aber keinem Zweifel, daß hier unter b) noch manches eigentlich dorthin Gehörige enthalten ist. Eine große Anzahl von Abhandlungen betrifft gleichzeitig mehrere jener Specialgebiete.

1857.

323. Lembert. *Pseudochromie.* Ann. d'Ocul. XXXVIII. S. 275

1858.

324. A. v. Baumgartner. *Ein Fall ungleichzeitiger Wiederkehr für verschiedene Farben.* Wien. Ber. XXIX. S. 257—258
325. Clemens. *Farbenblindheit während der Schwangerschaft, nebst einigen zeitgemäßen Erörterungen über Farbenblindheit und deren Ursache.* Arch. f. physiol. Heilkde. (n. F.) II. S. 41—59.

1859.

326. H. Helmholtz. *Ueber Farbenblindheit.* Verhandl. d. naturhist.-med. Vereins zu Heidelberg. 11. Nov. 1859. Bd. II. S. 1—3
327. J. F. W. Herschel. *Remarks on colour blindness.* Proc. of Roy. Soc. X. S. 72—84. Philos. Mag. 4. XIX. S. 148—158.
328. W. Pole. *On colour blindness.* Philos. Transact. CXLIX. S. 323—339. — Ann. de chim. (3.) LXIII. S. 243—256.
329. C. Manby. *On colour blindness.* London.
330. J. Smith. *On the cause of colour and the theory of light.* Rep. of Brit. Assoc. (2.) S. 22—23. Proc. of Manchester Philos. Soc. 1859—1860. S. 147—149 — Athen. (2.) S. 434.

1860.

331. Clemens. *Daltonisme non-congénital.* Gaz. des Hôp. S. 180. — Ann. d'Oculist. XLIII. S. 185.
332. J. J. Oppel. *Einige Beobachtungen und Versuche über partielle Farbenblindheit.* Jahresber. d. Frankf. Vereins. 1859—1860. S. 70—114.

4333. GLADSTONE. *On his own perception of colour.* Athen. II. S. 24. — Rep. of Brit. As (2.) S. 12—13.
4334. J. CL. MAXWELL. *On the theory of compound colours and the relations of the col in the spectrum.* Proc. Roy. Soc. X. S. 404—409 u. 484—486. Philos. Trans CL. S. 57—84. Philos. Mag. (4.) XXI. S. 141—146. Cimento. XII. S. 33- Rep. of Brit. Assoc. (2.) S. 16.

**1861.**

4335. J. J. OPPEL. *Nachträgliche Bemerkungen zu dem vorjährigen Aufsatze über Far blindheit.* Jahresber. d. Frankf. Vereins. 1860—1861. S. 42—47.
4336. J. Z. LAURENCE. *Some observations on the sensibility of the eye to colour.* Phi Mag. (4.) XXII. S. 220—226.
4337. E. ROSE. *Ueber stehende Farbentäuschungen.* Arch. f. Ophthalm. VII. (2.) S bis 108.

**1862.**

4338. J. BRISCHE. *Phénomène d'Acromatopsie ou Daltonisme monochromatique.* Ann. méd. Chir. de Liège I, S. 87.
4339. FRONMÜLLER. *Mangelhafter Farbensinn.* Memorab. VI. S. 7.
4340. J. J. OPPEL. *Zur Veranschaulichung der Achromatopsie für nicht damit Behaf* Jahresber. d. Frankf. Vereins. 1861—1862. S. 48—55.

**1863.**

4341. R. SCHELSKE. *Ueber Farbenempfindungen.* Arch. f. Ophthalm. XI. 3. S. 39—6
4342. M. BAKOWA. *Ein Verfahren, künstliche Farbenblindheit hervorzubringen.* Zeits f. rat. Med. III. Reihe. XVII. S. 245.

**1864.**

4343. H. AUBERT. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau. S. 154—186.
4344. M. BENEDICT. *Der Daltonismus bei Sehnerven-Atrophie.* Arch. f. Ophthalm. (2.) S. 185.
4345. E. ROSE. *Die Gesichtstäuschungen im Icterus. (Nebst einem Anhang über Farbensinn bei der Nachtblindheit und die Wirkung der Pikrinsäure auf das A* Virchow's Arch. XXX. S. 442.
4346. v. WITTICH. *Ueber die geringsten Ausdehnungen, welche man farbigen Obje geben kann, um sie noch in ihrer specifischen Farbe wahrzunehmen.* Königsb. m Jahrbücher. IV. S. 23.

**1865.**

4347. CHISOLM. *Color-Blindness from Neuritis.* Ophth. Hosp. Rep. Vol. VI. S. 214
4348. E. MACH. *Bemerkungen über intermittirende Lichtreize.* Reichert u. du Bois' A Jahrg. 1865. S. 629—635.
4349. R. SCHELSKE. *Ueber Rothblindheit in Folge pathologischen Processes.* Arch. Ophthalm. XI. (1.) S. 171—178.
4350. C. BOHN. *Ueber das Farbensehen und die Theorie der Mischfarben.* Pogg. A CXXV. S. 87—118. (Versuch einer Theorie, ähnlich der von Grailich.)
4351. F. BURCKHARDT. *Notiz, betreffend mangelnden Farbensinn.* Pogg. Ann. CXXIV. S.
4352. E. ROSE. *Die Farbenkrankheiten im Abrifs.* Pogg. Ann. CXXVI. S. 68—87.
4353. R. SCHELSKE. *Zur Farbenempfindung.* Arch. f. Ophthalm. XI. (1.) S. 171—1

**1866.**

4354. E. GOUBERT. *De la perceptivité normale et surtout anormale de l'oeil pour couleurs spécialement de l'achromatopsie ou cécité des couleurs.* Thèse. Paris.
4355. M. SCHULTZE. *Ueber den gelben Fleck der Retina, seinen Einfluſs auf norm Sehen und auf Farbenblindheit.* Bonn

**1867.**

4356. C. S. CORNELIUS. *Ueber Young's Farbentheorie.* Zeitschr. f. Naturkde. XXX S. 520.
4357. H. DOR. *Observations au sujet des travaux de M. Schultze sur la tache ja de la rétine, son influence sur la vision normale et sur le Daltonisme.* Arch. sc. p (2.) XXVIII. S. 155—165.
4358. — *Sur le Daltonisme.* Arch. de la Bibl. univ.
4359. H. W. DOVE. *Optische Notizen. I. Vereinigung prismatischer Farben zu Weifs. II. subjective Farben durch electrische Beleuchtung.* Pogg. Ann. CXXXI. S. 651—6
4360. GALEZOWSKI. *Sur l'achromatopsie pathologique.* Compt. rend. du Congrès ophthal Paris.

1. V. HENSEN. *Ueber das Sehen in der Fovea centralis.* Virchow's Arch. XXXIX. S. 475.
2. J. NICKLÈS. *Physiological effects of the monochromatic flame.* Silliman's Journ. (2.) XLIII. S. 93—94.

1868.

3. GALEZOWSKI. *Du diagnostic des maladies des yeux par la chromatoscopie rétinienne, précédé d'une étude sur les lois physiques et physiologiques des couleurs.* Paris.
4. NIEMETSCHECK. *Ueber Farbenblindheit.* Prag. Vierteljahrsschr. 25. Jahrg. IV. S. 224—238.
5. ZÖLLNER. *Ueber Farbenbestimmung der Gestirne.* Pogg. Ann. Bd. 135. S. 59.

1869.

6. W. BENSON. *Contrast and admixture of colours.* Scient. Am. XX. S. 257—258.
7. CHISOLM. *Colour blindness resulting from neuritis.* Ophthalm. Hosp. Rep. April.
8. TH. LEBER. *Ueber das Vorkommen von Anomalien des Farbensinnes bei Krankheiten des Auges.* Arch. f. Ophthalm. XV (3.) S. 26—107.
9. J. J. MÜLLER. *Zur Theorie der Farben.* Arch. f. Ophthalm. XV. (2.) S. 208 bis 258. — Pogg. Ann. Bd. 139. S. 411—431, 593—613.
0. W. PREYER. *Ueber anomale Farbenempfindungen und die physiologischen Grundfarben.* Pflüger's Arch. I. S. 299—329.

1870.

1. J. CZERMAK. *Ueber Schopenhauer's Theorie der Farbe.* Wien. Akad. Ber. LXII. S. 393—411.
2. GALEZOWSKI. *Étude sur la chromatoscopie rétinienne ou examen de la vue au moyen de l'échelle de couleurs.* Compt. Rend. LXX. S. 1162.
3. TH. LEBER. *Ueber Farbenblindheit bei Erkrankung des Auges.* Berl. med. Ges. — Berl. klin. Wochenschr. S. 8.
4. A. SCHOPENHAUER. *Ueber das Sehen und die Farben.* 3. Aufl. Herausgegeb. von Frauenstädt, Leipzig.
5. J. W. STRUTT. *Some experiments on colour.* Rep. Brit. Assoc. XL. Liverpool. 43. — Nature. III. S. 234—236. 1871.)
6. VIERORDT. *Die Messung der Lichtabsorption durchsichtiger Medien mittelst des Spectralapparats.* Pogg. Ann. CXL. S. 172.
7. M. WOINOW. *Zur Farbenempfindung.* Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 212.
8. — *Zur Frage über die Intensität der Farben.* Arch. f. Ophthalm. XVI (1.) S. 251

1871.

9. J. AITKEN. *Is blue a primary colour?* Nature IV. S. 465
0. A. BACHMEISTER. *Farben und Farbensinn.* Ausland. S. 847 851.
1. F. C. DONDERS. *Angeborener absoluter Defect des Farbensinnes.* Zehender's Klin. Monatsbl. IX. S. 470—471.
2. GALEZOWSKI. *Quelques considérations sur la cécité par cause pathologique pour les couleurs.* Ann. d'Oculist. LXV. S. 221—243.
3. F. HOLMGREN. *Ueber Farbenblindheit und die Young-Helmholtz'sche Farbentheorie.* Upsala Läkeref. Förh. VI. S. 634—687.
4. J. CL. MAXWELL. *On colour vision.* Nature. IV. S. 13—16
5. J. T. MOTT. *The primary colours.* Nature. III. S. 246 u. 307
6. J. J. MURPHY. *The sensation of colour.* Nature. IV. S. 27
7. J. J. OPPEL. *Ueber chromatische Täuschungen, den relativen Werth der Farbenbezeichnungen und das Zustandekommen unserer Farbenwahrnehmung überhaupt.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1869 70. S. 96—105.
8. J. W. STRUTT. *Colour.* Nature. IV. S. 142
9. M. WOINOW. *Zur Diagnose der Farbenblindheit.* Graefe's Arch. XVII. 2. S. 241—248

1872.

0. J. AITKEN. *On colour and colour sensation.* Proc. of the Roy. Scottish Soc. of Arts. 1871—1872
1. G. BRIESEWITZ. *Ueber das Farbensehen bei normalem und atrophischem Nervus opticus.* Inaug.-Diss. Greifswald.
2. E. CHEVREUL. *Réponse aux allégations contenues dans un rapport de M. A. Gruyer sur l'Exposition internationale de Londres à propos des tapisseries des Gobelins.* Compt. Rend. LXXV. S. 902 u. 993.

4393. DOR. *Ueber Farbenblindheit. Einwendung gegen die Young-Helmholtz'*
*Theorie.* Sitzgs.-Ber. d. Bern. naturf. Ges. No. 792—811. S. 7—23.
4394. E. EMMERT. *Ueber die Farben und ihre Beziehungen zum menschlichen Auge.* Be
4395. HAVREZ. *Formules pour les lois de teinture. Numéros des nuances chevreulien liés aux doses d'agents générateurs.* Compt. Rend. LXXV. S. 1103. — Mo (2.) XXIX. S. 466.
4396. JEAFFRESON. *Colour blindness in disease of brain and optical nerves.* Lancet. S. 601—670.
4397. R. LIEBREICH. *Turner and Mulready. — On the Effect of certain Faults Vision on Painting, with especial Reference to their Works.* Roy. Inst. March Nature. V. S. 404.
4398. — *Die Fehler des Auges bei Malern.* Der Naturforscher. No. 47.
4399. J. CL. MAXWELL. *Sur la vision des couleurs.* Mond. (2.) XXVII. S. 293—300 u. 439—4
4400. W. PREYER. *Notiz über die violettempfindenden Nerven.* Centralbl. f. d. med. Wi S. 113.
4401. W. M. WILLIAMS. *Turner's Vision.* Nature. V. S. 500.

**1873.**

4402. ANNUSKE. *Farbenstörung als erstes Symptom von Sehnervenleiden.* Graefe's Ar f. Ophthalm. XIX. (3.) S. 254.
4403. W. v. BEZOLD. *Ueber das Gesetz der Farbenmischung und die physiologischen Gru farben.* Pogg. Ann. CL. S. 71 u. 221.
4404. A. FICK. *Zur Theorie der Farbenblindheit.* Verhandl. d. Physik.-Med. zu Wü burg. N. F. V. S. 129.
4405. HOCHECKER. *Ueber angeborene Farbenblindheit.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (3.) S.
4406. TH. LEBER. *Ueber die Theorie der Farbenblindheit und über die Art und Weise,* *gewisse, der Untersuchung von Farbenblinden entnommene Einwände gegen* *Young-Helmholtz'sche Theorie sich mit derselben vereinigen lassen.* Sitzgs.-B d. Ophthalm. Ges. in Klin. Monatsbl. S. 467—473.
4407. R. LIEBREICH. *Farbenblindheit.* Ausland. S. 179.
4408. M. PONTON. *Colours and their relations.* Quart. Journ. of sc. S. 74—103.
4409. E. RAEHLMANN. *Beiträge zur Lehre vom Daltonismus und seiner Bedeutung für* *Young'sche Farbentheorie.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (3.) S. 88—106.
4410. R. SCHIRMER. *Ueber erworbene und angeborene Anomalien des Farbensinnes.* Ar f. Ophthalm. XIX. (2.) S. 194—235. — Berlin. Klin Wochenschr. No. 5.
4411. W. SCHÖN. *Ueber die Grenzen der Farbenempfindung in pathologischen Fällen.* Kl Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 171.
4412. F. J. SMITH. *Mechanical Combination of Colours.* Nature. VIII. S. 262.
4413. TALMA. *Over licht en kleurperceptie.* Bijbl. 14de Versl. Nederl. Gasth. for ooglijde S. 129. — Inaug.-Diss.

**1874.**

4414. A. FAVRE. *Recherches cliniques sur le Daltonisme et de son traitement.* Lyon mé No. 22.
4415. GUILLEMIN. *La lumière et les couleurs.* Paris, Hachette. 302 S.
4416. FR. HOLMGREN. *Theorie der Farbenblindheit, kritische Uebersicht mit Angabe eigenen Standpunktes.* Upsala Läkaref. Förh. IX. S. 119—163, 187—202.
4417. — *Ueber Diagnostik und Theorie der angeborenen Farbenblindheit.* Nord Med Arch. VI. No. 24 u. 28.
4418. E. HERING. *Zur Lehre vom Lichtsinn. VI. Ueber die sogenannte Intensität Lichtempfindung und über die Empfindung des Schwarzen.* Wien. Ber. (3.) LXIX S. 85—106.
4419. LICZEY. *Daltonisme congénital.* Journ. méd. de Bruxelles. S. 327.
4420. REICH. *Farbenempfindung.* Klin. Monatsbl.
4421. H. SCHOLER. *Bestimmung einer der drei Grundfarben des gesunden Auges.* Arch. f. Ophthalm. XX. (2.) S. 87.
4422. SCHÖN. *Zur Farbenempfindung.* Berl. klin. Wochenschr. No. 20.
4423. M. A. SPOTTISWOODE. *On combinations of colour by means of polarized light.* Proc. of the Roy. Soc. of London. XXII. S. 354—358.
4424. M. WOINOW. *Zur Farbenempfindung.* (Russisch.) Med. Rundsch. Moskau. I. u. II. Heft u. Moskauer med. Bote. S. 292.
4425. — *Die farbenempfindenden Elemente der Netzhaut.* Moskauer med. Rundsch. I. 2

1875.

6. S. Exner. *Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Processe.* VI. Abh. *Die Empfindungszonen des Sehnervenapparates.* Pflüger's Arch. XI. S. 581—602.
7. A. Favre. *De la dyschromatopsie traumatique.* Lyon.
8. — *Sur le traitement du Daltonisme.* Rev. Scientif. XIV. S. 237.
9. E. Landolt. *Procédé pour déterminer la perception des couleurs.* Ann. d'Oculist. LXXIV. S. 74—75.
0. H. Magnus. *Die Bedeutung des farbigen Lichtes für das gesunde und kranke Auge.* Leipzig.
1. Mol. *Onderzoek op Kleurblindheid.* Nederl. Tijds. v. Geneesk. No. 7. S. 89.
2. Pouchet. *Chromatische Function.* Ausland. S. 108.
3. E. Raehlmann. *Ueber den Farbensinn bei Sehnervenerkrankungen.* Arch. f. Ophthalm. XXI. (2.) S. 27.
4. H. Riccò. *Ueber Farbenwahrnehmung.* Atti della R. Acad. di Scienza di Modena.
5. J. Stilling. *Beiträge zur Lehre von den Farbenempfindungen.* Stuttgart. Zwei aufserordentl. Beilageh. z. d. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XIII. Jahrg.
6. Treitel. *Ueber das Verhalten der peripheren und centralen Farbenperception bei atrophia nervi optici.* Inaug.-Diss. Königsberg.
7. K. Vierordt. *Physiologische Spectralanalysen.* Zeitschr. f. Biol. X. 4. S. 399. XI. S. 187.
8. Warlomont. *De la chromatopseudopsie.* Ann. d'Oculist. LXXIV. (11. Serie. IV.) S. 5—55.
9. A. Weber. *Prüfung von Farbenblindheit.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XIII. S. 486—488.
0. M. Woinow. *Beiträge zur Farbenlehre.* Arch. f. Ophthalm. XXI. 1. S. 223—250.

1876.

1. S. Bert. *De la couleur verte.* Gaz. des Hôpit. S. 1174.
2. T. Bertier. *Du Daltonisme et de la dyschromatopsie acquise.* Paris.
3. W. v. Bezold. *Eine neue Methode der Farbenmischung.* Sitzgs.-Ber. d. Münch. Akad. 4. März.
4. — *Ueber die Vergleichung von Pigmentfarben mit Spectralfarben.* Pogg. Ann. CLVIII. 1. S. 165—169.
5. Lavand de l'Estrade. Procédé simple de recomposition des couleurs du spectre solaire au moyen d'un miroir tournant. Rev. Scient. S. 523. — Les Mondes. XLII. S. 579.
6. J. Loudon. *Recomposition of the component colours of white light.* Philos. Mag. (5.) I. S. 170.
7. Nuel. *E. Hering. Du sens de lumière. Revue critique.* Ann. d'Oculist. LXXVI. S. 54—69.
8. J. J. Oppel. *Zwei Farbentafeln zur Illustration der Farbenblindheit mit dazu gehörendem grünlichen Glas.* Cataloge of the Spec. Loan Coll. of Scient. Apparatus. London. I. S. 139. No. 969.
9. E. Rahlmann. *Ueber den Daltonismus und die Young'sche Farbentheorie.* Graefe's Arch. XXII. (1.) S. 29.
0. H. Riccò. *Ueber die Farbenwahrnehmung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXII. 1. S. 282—291.
1. O. N. Rood. *The constants of colour.* Quat. Journ. of sc. No. 52.
2. J. Stilling. *Beiträge zur Lehre von den Farbenempfindungen.* Aufserord. Beil.-Hefte z. d. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XIV.

1877.

3. S. Bert. *De la couleur verte.* Gaz. méd. de Paris. S. 197. — Gaz. des hôpit. S. 286.
4. A. Chodin. *De l'influence de l'augmentation de la pression oculaire sur la perception des couleurs.* Ann. d'Oculist. LXXVIII. S. 1—29.
5. — *Ueber die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Lichtstärke.* Samml. physiol. Abhandl. v. Preyer. VII. 66 S. Jena, Dufft.
6. F. C. Donders. *Die quantitative Bestimmung des Farbenunterscheidungsvermögens.* Arch. f. Ophthalm. XXIII. 4. S. 282—291.
7. A. Favre. *Du traitement du Daltonisme dans les écoles.* Lyon.

4458. A. Favre. *Recherches cliniques sur le Daltonisme.* Gaz. hebdom. S. 650—652.
4459. H. Grassmann. *Bemerkungen zur Theorie der Farbenempfindungen.* Anhang i Preyer, Elemente der reinen Empfindungslehre. Samml. physiol. Abhandl. I. S. 84—93.
4460. G. Jaeger. *Einiges über Farben und Farbensinn.* Kosmos. I.
4461. Th. Leber. *Die Störungen des Farbensinnes.* Handb. d. Augenheilkde. v. Gra u. Sämisch. V. 2. S. 1017—1044.
4462. E. Regéczy. *Ueber Farbenwahrnehmung.* (Ungarisch.) Orvosi Hetilap. No. 23
4463. J. Stilling. *Ueber Prüfung des Farbensinnes.* Beil. z. d. Klin. Monatsbl Augenheilkde. S. 168—173. — Beil. z. Septemberheft d. Centralbl. f. prakt. Aug heilkde. S. 28.
4464. G. G. Stokes. *The absorption of light and the colours of natural bodies.* Lond Mc. Millan & Co.
4465. A. Weinhold. *Ueber Farbenwahrnehmung.* Pogg. Ann. No. 12. S. 631—658.
4466. *Colour-Blindness.* Brit. med. Journ. No. 836.
4467. *Farbenkreis in 15 Abstufungen und 20 Anwendungstafeln, und zwar Complem und Triaden.* Nach Prof. Dr. E. Brücke's Physiologie der Farben und unter des persönlicher Anleitung zusammengestellt. Wien.

1878.

4468. E. Brücke. *Ueber einige Empfindungen im Gebiete des Sehnerven.* Wien. Ber. Bd. Abth. 3.
4469. A. Charpentier. *Sur la production de la sensation lumineuse.* Compt. Rend. Bd. S. 1341—1344. Gaz. Méd. de Paris. No. 24. S. 291.
4470. — *Sur la distinction entre les sensations lumineuses et les sensations chromatiq* Compt. Rend. Bd. 86. S. 1272—1274. — Gaz. Méd. de Paris. No. 23. S. 281.
4471. — *Les sensations lumineuses et les sensations chromatiques.* Arch. génér. J S. 118.
4472. E. Chevreul. *Deux notes sur la vision des couleurs.* Compt. Rend. Bd. S. 854—858 u. 985—991.
4473. — *Observations à propos des recherches de M. Rosenstiehl, sur le noir absolu noir idéal.* Compt. Rend. Bd. 87. S. 129.
4474. A. Chodin. *Ueber den Einfluſs der Verstärkung des intraoculären Drucks auf Farbenempfindungen.* Milit.-med. Journ. Juni.
4475. H. Cohn. *Beobachtungen an 100 Farbenblinden.* Ber. üb. d. Stzg. d. Heid Ophthalm. Ges. S. 110—120. — Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. Beil. Augustheft.
4476. Ch. Cros. *Sur une observation de couleurs complémentaires.* Compt. Rend. Bd. S. 983.
4477. M. J. Delboeuf. *Rapport sur les questions relatives au Daltonisme intéressant administrations du chemin de fer.* Bull. de l'Acad. roy. de Belgique. XL No. 4.
4478. J. Delboeuf und W. Spring. *Recherches expérimentales théoriques sur le Dalton* Rev. Scient. 2. VII. No. 38. S. 889—892 u. 901—904.
4479. — *Moyen de produire et de corriger le Daltonisme.* Bull. de l'Acad. roy. de Belgi XLV. No. 1.
4480. F. C. Donders. *La détermination numérique du pouvoir de distinguer les couleurs.* Ar d'Ophthalm. 11. IX. S. 275—183.
4481. — *Over dichromatische stelsels.* Kon. Akad. v. Wetensch. Afd. Natuurk. 28. D 1878.
4482. Dor und Favre. *Nouvelles recherches sur la détermination quantitative de la chromatique.* Lyon méd. 7. u. 14. April. — Lyon, Assoc. typogr. 16 S.
4483. E. Dreher. *Beitrag zur Theorie der Farbenwahrnehmung.* Berlin, Hempel. 
4484. Favre. *Daltonisme.* Arch. génér.
4485. — *Sur le daltonisme, précautions sanitaires et moyens préventifs.* Compt. Rend LXXXVI. S. 1377.
4486. A. E. Fick. *Eine Notiz über Farbenempfindung.* Pflüger's Arch. f. Physiol. XVII S. 152—153.
4487. G. Stanley Hall. *The perception of color.* Proc. of the Americ. Acad. of Ar and Sc. XIII. — Boston Med. and Surg. Journ. S. 475—477.
4488. J. Henry. *Color-Blindness.* Rep. Smithson Inst. S. 196—200.

89. HJORT *Om Farveblindhed.* Norsk. Mag. for Lägevid. 3. R. VIII. 3 Forh. S. 27—29.
90. Fr. HOLMGREN. *Einige neuere praktische Methoden zur Entdeckung der Farbenblindheit.* Upsala Läkaref Förh. XIII. S 193—226.
91. — *Ueber den farbigen Schatten und die Farbenblindheiten.* Upsala Läkaref. Förh. XIII. S. 456—565.
92. E. JAVAL. *Correction du Daltonisme.* Gaz. des Hôpit. No. 54. S. 430. — Progr. Méd. No. 18. S. 340.
93. J. JEFFRIES. *Dangers from Color Blindness in railroad employés and pilots.* Boston, Rand, Avery & Co.
94. — *Incurability of congenital color-blindness.* The Boston Med. and Surg. Journ. March 28.
95. — *Color-Blindness. A lecture.* Boston daily Advertiser.
96. D. KITAO. *Zur Farbenlehre.* Inaug.-Diss. Göttingen.
97. J. v. KRIES. *Beitrag zur Physiologie der Gesichtsempfindungen.* du Bois' Arch. f. Physiol. 1878. S. 503—524.
98. E. LANDOLT u. A. CHARPENTIER. *Des sensations de lumière et de couleurs dans la vision directe et dans la vision indirecte.* Compt. Rend. Bd. 86. S. 495—497. — Gaz. Méd. de Paris. No. 10. S. 120.
99. A. LEDERER. *Ueber Farbenblindheit.* Gesundheit. III. S. 22.
00. H. MAGNUS. *Beiträge zur Kenntnis der physiologischen Farbenblindheit.* Arch. f. Ophthalm. XXIV. (4.) S. 171—236.
01. — *Die Farbenblindheit, ihr Wesen und ihre Bedeutung.* Breslau, J. U. Kern. 60 S.
02. — *Die Farbenblindheit.* Nord u. Süd. Dec. VII. (18.) S. 235—245.
03. — *Neueres zur Theorie und Praxis der Farbenblindheit.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 20.
04. H. MAGNUS, H. COHN u. JACOBI. *Ueber Farbenblindheit.* Bresl. Ztg. No. 59. — Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 56—58 u. 82—86.
05 F. MINDER. *Beitrag zur Lehre von der Farbenblindheit.* Inaug.-Diss. Bern, Stämpfli.
06. NUËL. *L'amblyopie alcoolique et le Daltonisme.* Bull. de l'Acad. roy. de Méd. de Belgique. (3.) XII. No. 7. S. 686-701. — Ann. d'Oculist. LXXX. No. 3 u. 4.
07. O. RADDE *Internationale Farbenscala. 42 Gammen mit 882 constanten Tonen.* Hamburg-Paris, Steno-chrom. Anst v. Radde.
08. ROSENSTIEHL. *De l'emploi des disques rotatifs pour l'étude des sensations colorées; de l'harmonie des couleurs* Compt. Rend Bd. 86 S. 343.
09. — *Assortiment des couleurs.* Soc. d'encourag. p. l'industr. nat. V. 24. 12 S.
10. — *Définition et classification des couleurs.* Assoc. franz. p. l'avanc. d. sc. 29. VIII. 12 S.
11. J. STILLING. *Ueber Farbensinn und Farbenblindheit.* Cassel, Fischer. 34 S.
12 A. WEBER *Ueber Prüfung des Farbensinnes.* Ber. d. Vers. d. Heidelb. Ophthalm. Ges. S. 130—132. — Beil. z. Augusth. d. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 38—40.

1879.

13. J. AITKEN. *Colour-Blindness.* Nature. No. 522. — Journ. anat. and phys. XIII. S. 322.
14. BATUT. *De la chromatopseudopsie.* Thèse de Paris
15. G. A. BERRY. *Remarks on the Examination and Classification of Cases of Colour-Blindness.* Edinb. Med. Journ. Bd. 292 S 305.
16. BRIBOSIA. *Rapport sur les communications de M. Moller, relatives au daltonisme.* Bull. de l'Acad. roy. de Méd. de Belgique. 3. XIII. 2. S. 208-228.
17. H. F. BROWN und J. HERON. *Verhalten des Auges zur Neutraltinte.* Ann. de Chimie. Bd. 199. S. 178.
18. E. BRÜCKE. *Ueber einige Consequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie.* Wien. Ber. LXXX. (3. 3. Juli.
19. CAMERON. *Colour-Blindness.* Dublin. Journ Sept.
20. C. CHEVREUL. *La vision des couleurs.* Compt. Rend. Bd. 88. S 929—940. Rev. Scient. No. 47.
21. CINTOLESI *Intorno alle immagini accidentali o soggettive.* Ann. d'Ottalm. VIII. 2.3. — Nature. XXI. 21. — Beibl. d. Phys. III S. 711.
22. H. COHN. *Studien über angeborene Farbenblindheit.* Breslau, E Morgenstern.
23. — *Einige Bemerkungen über Herrn Dr. Magnus' Aufsatz über Farbenblindheit.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXV. 1 S. 341.

4524. H. Cohn. *Quantitative Farbensinnbestimmungen.* Arch. f. Augenheilkde. S. 84.
4525. — *Zur Abwehr (gegen Magnus: Ueber Farbenblindheit).* Beil. z. Centralb Augenheilkde. III. October.
4526. — *Die Arbeiten des Herrn Prof. Holmgren über Farbenblindheit und Kampfesweise.* Breslau, Morgenstern.
4527. — *Farbensinn-Messungen im directen Sonnenlicht und bei electrischem Licht.* 12. V d. Ophthalm. Ges. Ber. S. 6—9. — Arch. f. Augenheilkde. IX. 2. (1880.)
4528. — *Ueber angeborene und erworbene Farbenblindheit.* Bresl. ärztl. Zeitschr. I. No
4529. H. Coursserant. *Sur l'emploi méthodique des verres de couleurs dans l'achromato* Acad. des sc. 21. April. — Gaz. méd. No. 19.
4530. Ch. Cros. *Les couleurs, le chromomètre et la photographie des couleurs.* Journ. phys. VIII. S. 233—236.
4531. — *Sur la classification des couleurs.* Compt. Rend. Bd. 88. S. 119—122
4532. A. Daae. *Die Farbenblindheit und deren Erkennung.* Deutsch von M. Sä Berlin, Dörffel & Hirschwald.
4533. — *Ueber Farbenblindheit.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 1.
4534. F. C. Donders. *Sur les systèmes de couleurs.* Congr. intern. des sc. méd. à Ams dam. Section de Biologie. Sept.
4535. — *Des systèmes dichromatiques.* Ann. d'Oculist. Bd. 81. S. 7—10.
4536. A. Emery. *Proposito della dottrina del Acromatopsia.* Movimento I. S. 345.
4537. Everett. *Colour-vision and colour-Blindness.* Nature. No. 525.
4538. Favre. *Le traitement du daltonisme congénital par l'exercice, chez l'enfant et l'adulte.* Gaz. hebdom. No. 6 u. 7.
4539. Govi. *Ueber Behandlung von Fehlern der Farbenwahrnehmung.* Nederl. Tijds voor Genesk. XIV. 2.
4540. Hall. *On the perception of colour.* Proc. of the americ. acad. of arts and sc
4541. Fr. Holmgren. *Die Arbeiten des Herrn Professor Cohn über Farbenblind* Upsala Läkaref. Förh. XIV. S. 538—589. (Auch separat erschienen.)
4542. B. J. Jeffries. *Color-Blindness: its dangers and its detection.* Boston, Hough Osgood & Co. 312 S.
4543. S. Kalischer. *Die Farbenblindheit.* Berlin, Hempel.
4544. Keyser. *Ueber Farbenblindheit.* Ztg. d. Ver. dtsch. Eisenb.-Verw. No. 48.
4545. J. v. Kries und Küster. *Ueber angeborene Farbenblindheit.* Arch. f. Anat. u. Phy Physiol. Abth. S. 513—524.
4546. Lederer. *Zur Mechanik der Farbenwahrnehmung.* Kosmos. IV. S. 438—457.
4547. J. Macé de Lépinay und W. Nicati. *Recherches sur le daltonisme.* Compt. Re Bd. 89. S. 716—719. — Gaz. méd. de Paris. No. 46.
4548. H. Magnus. *Die physiologische Farbenblindheit.* Ausland. No. 3. — Allg. Ztg. 26. — N. Fr. Pr. No. 5175.
4549. — *Antwort auf die Arbeit des Herrn Professor Cohn: „Einige Bemerkungen* u.s. Arch. f. Ophthalm. XXV. 2. S. 280—284.
4550. L. Mauthner. *Die Prüfung des Farbensinnes.* Wiesbaden, Bergmann.
4551. — *Nomenclatur und Theorie der Farbenblindheit.* Wien. med. Wochenschr. No Wien. med. Pr. No. 46.
4552. Moeller. *Du Daltonisme au point de vue théorique et pratique. Etude des méthodes d'exploration du sens chromatique.* Bruxelles, Manceaux. 146 S.
4553. Nuel. *Des altérations du sens chromatique.* Journ. d. sc. méd. de Louvain S. 152—163.
4554. — *Ueber die erworbenen Störungen des Farbensinnes.* Ann. d'Oculist. Bd. 82. S. 1— Bull. de l'Acad. de Belgique. (3.) XIII. No. 3.
4555. E. Netoliczka. *Untersuchungen über Farbenblindheit und Kurzsichtigkeit.* 28. Jahr Ber. d. steiermärk. Landes-Ober-Realschule. Graz.
4556. H. W. Payl. *On Colour-Blindness* Brit. med. Journ. 25. October.
4557. Picard. *La cécité des couleurs.* Gaz. méd. No. 11.
4558. W. Pole. *Colour-Blindness.* Nature. No. 516.
4559. — *Hering's Theorie of the vision of light and colors.* Nature. No. 521—523
4560. A. v. Reuss. *Ueber Farbenblindheit.* Wien. Klin. V. (3.) S. 65—100.
4561. Riccò. *Studio universale della percezione dei colori.* Giorn. d. malatt. d. occhi I. (5/6.)

2. O. N. Rood. *Our memory for colour and luminosity.* U. S. Nat. Acad. of Sc. réunion d'oct. — Nature XXI. S. 144.
3. Schwartz. *Effect of distance on appreciation of colour.* Proc. Amer. Acad. VII. S. 229.
4. J. Stilling. *Ueber Farbenblindheit.* Ber. d. XII. Vers. d. Ophthalm. Ges. Klin-Monatsbl. f. Augenheilkde. XVII. S. 176.
5. — *Ueber das Sehen der Farbenblinden.* 91 S.
6. — *Ueber den Stand der Farbenfrage.* Arch f. Augenheilkde. VIII. S. 18—37.
7. H. R. Swanzy. *Colour-Blindness.* Brit. med. Journ. 4. Oct.
8. J. Talko. *Untersuchungen über Farbenblindheit.* (Russisch.) Medycyna, Warszawa. VII. S. 247, 264 u. 278.
9. Tennant. *Colour-Blindness.* Nature. No. 528.
0. B. J. R. Wolfe. *On Colour-sight and Colour-blindness.* London, Churchill. — Lancet, II. No. 1. S. 23. — Med. Times. No. 1501—1503.

**1880.**

1. O. Berger. *Hypnotische Farbenblindheit.* Breslauer ärztl. Zeitschr. No. 10—12.
2. C. A. Bucklin. *On the effects of distance on color.* New-York med. Rec. XVII. S. 199.
3. A. Charpentier. *Le sens de la lumière et le sens des couleurs.* Prog. méd. No. 34. Arch. d'ophthalm. I.
4. — *Sur la quantité de lumière nécessaire pour percevoir la couleur d'objets de différentes surfaces.* Compt. Rend. T. 92. S. 92.
5. E. Chevreul. *Sur la vision des couleurs.* Compt. Rend. Bd. 91. (1.) S. 16.
6. H. Cohn. *Das Verschwinden der Farbenblindheit beim Erwärmen eines Auges.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 16. — Bresl. ärztl. Zeitschr. No. 8.
7. — *Ueber hypnotische Farbenblindheit mit Accommodationskrampf und über Methoden, um das Auge zu hypnotisiren.* Bresl. ärztl. Zeitschr. No. 6.
8. Danilow. *Zur Frage der Anomalie des Farbensinnes.* Diss. Petersburg. — Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IV. S. 281.
9. F. C. Donders. *Remarques sur les couleurs et la cécité des couleurs.* Arch. d'ophthalm. LXXXIV. S. 205—216. — Brit. med. Journ. No. 13.
0. E. Dreher. *Beiträge zur Theorie der Farbenwahrnehmung.* In: *Beitr. zu einer exacten Psycho-Physiologie.* Halle. S. 69—91.
1. — *Theorie der Farbenwahrnehmung.* Die Natur (N. F.) VI. No. 21. 25. 29.
2. Favre. *Sur le Daltonisme.* Acad. de méd. 10. Aug. — Arch. génér. Sept.
3. — *Mémoire sur la dyschromatopsie.* Rev. méd. No. 33.
4. A. Fick. *Ueber die Farbenempfindungen.* Dtsch. Rundsch. April.
5. Grossmann. *Ueber die Messung der Schärfe des Farbensinnes.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Bd. IV. S. 298.
6. R Günther. *Der Farbensinn, sein Wesen und seine Entwickelung.* Diss. München.
7. R. Haidenhain. *Zur Kritik hypnotischer Vorgänge.* Bresl. ärztl. Zeitschr. 13. März.
8. R. Haidenhain u. Grützner. *Halbseitiger Hypnotismus, hypnotische Aphasie, Farbenblindheit und Mangel des Farbensinnes bei Hypnotischen.* Bresl. ärztl. Zeitschr. Febr.
9. J. F. Head. *Control of Color-Blindness.* New-York. med. Rec. XVII. S. 496.
0. E. Hering. *Zur Erklarung der Farbenblindheit aus der Theorie der Gegenfarben* Lotos. N. F. Bd. I. Auch separat. Prag 1880.
1. F. Holmgren. *Wie die Farbenblinden die Farben sehen.* Upsala Läkaref. Förh XVI. S. 69—75.
2. — *Ueber die subjective Farbenempfindung der Farbenblinden.* Centralbl. f. d. med. Wiss. Berlin. No. 49. S. 898—900 u. No. 50. S. 913—916.
3. Horstmann. *Ueber Farbenblindheit.* Dtsch. med. Wochenschr. VI. No. 44.
4. S. Kalischer. *Die Farbenblindheit in theoretischer und praktischer Hinsicht.* Gaea. XVI. (3.)
5. W. Krenchel. *Ueber die Hypothesen von Grundfarben.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (1.) S. 91.
6. W. Manz. *Einige Wirkungen der Fuchsingläser.* Ber. d. Sect. f. Ophthalm. d. Naturf. Vers. zu Baden-Baden. 19.—24. Sept.
7. G. Mari. *L'Aberrazione nella visione dei colori.* Piacenza.
8. E. J. Mellberg. *Ueber Farbenblindheit.* Nord. med. ark. XII. (4.) No. 24.
9. Morano. *Intorno ai lavori piu recenti sul Daltonismo.* Giorn. di Ottalm. April.

4600. E. NETOLICZKA. *Untersuchungen über Farbenblindheit und Kurzsichtigkeit.* G XXIX. Jahresber. d. steiermärk. Landes-Ober-Realschule.
4601. M. PESCHEL. *Experimentelle Untersuchungen über die Adaptation der Netzhaut für Far* Pflüger's Arch. XXI. S. 405.
4602. O. N. ROOD. *Effects produced by mixing white with colored light.* Sillim. Jo (3.) XX. S. 81.
4603. — *Newton's use of the term Indigo with reference to colour of the Spectr* Sillim. Journ. (3.) XIX. S. 135—137.
4604. R. RUCK. *Sur le sens des couleurs.* Rev. mens. de méd. et de chir. S. 500—504.
4605. R. SCHIRMER. *Farbenblindheit.* Eulenburg's Real-Encyklopädie d. ges. Heil V. S. 209—220.
4606. SCHNELLER. *Ueber den Sitz der Farbenempfindung.* Dtsch. med. Wochenschr. No. Tagebl. d. Vers. d. Naturf. u. Aerzte in Danzig. Ophthalm. Sect. S. 108 u.
4607. J. STILLING. *Ueber das Sehen der Farbenblinden.* Zehender's Mtsbl. S. 481. Centr f. Augenheilkde. October.
4608. WOLFE. *Control of Color-Blindness.* Boston evening transcript. No. 16.

1881.

4609. E. W. BARTLETT. *Color-blindness.* Rep. Bd. Health Wisconsin. — Madison. VI. (2.) S. 16.
4610. BANNISTER. *On some points in regard to color-blindness.* Journ. of nerv. and m disease. VIII. (6.)
4611. J. BJERRUM. *Hemianopsie für Farben.* Hosp. Tid. (2 R.) VIII. (3.) S. Schmidt's med. Jahrb. XCXI. S. 167.
4612. BRAILEY. *Report on Colour-Blindness.* Transact. of Ophthalm. Soc. of the U I. S. 191. — Brit. med. Journ. 23. April.
4613. E. v. BRÜCKE. *Ueber einige Consequenzen der Young-Helmholtz'schen Th* 2. Abh. Wien. akad. Ber. Bd. 84. (3.) S. 425—458.
4614. OLE. B. BULL. *Studien über Lichtsinn und Farbensinn.* Arch. f. Ophthalm. XX (1.) S. 54.
4615. S. M. BURNETT. *Color-Perception and Color-Blindness.* Arch. of Ophthalm. No. 1.
4616. G. COUTURIER. *Des sensations colorées.* Thèse de Paris.
4617. F. C. DONDERS. *Ueber Farbensysteme.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (1.) S. 155— — Arch. néerl. XVI. (2.) S. 150—214. — Ann. d'Oculist. Bd. 86. S 109— u. 197—220. — XXII. versl. v. het Ned. Gasth. v. Ooglijd. S. 1—72. — Utrecht Onderzoek. (3.) VI. (1.) S. 79—151.
4618. DOR *De l'état actuel de nos connaissances sur le daltonisme.* Compt. Rend. VI. congr. internat. d'ophthalm. in Mailand. S. 179.
4619. O. E. DE FONTENAY. *Ueber Anomalien des Farbensinnes.* Hosp. Tid. (2 R. S. 29 bis 36.
4620. E. v. FLEISCHL. *Ueber die Theorien der Farbenwahrnehmung.* Sitzgs.-Ber. d. Ges. Aerzte zu Wien. S. 742. — Wien. med. Wochenschr. No. 25. — Wien. med. Bl IV. No. 24. — Wien. med. Jahrb. 1882. S. 73. — Biol. Centralbl. Bd. I. S.
4621. GALEZOWSKI. *Dyschromatopsie pathologique et ses différentes variétés.* Gaz méd Paris. No. 23. S. 333. — Soc. de Biol. Mai 21.
4422. — *Achromatopsie des alcooliques.* Progès méd. No. 23. S. 440.
4623. A. GEISSLER. *Ueber Farbenblindheit.* Schmidt's Jahrb. d. ges. Med. Bd. 191. S. 73—1
4624. GILLET DE GRANDMONT. *Sur un procédé expérimental pour la détermination sensibilité de la rétine aux impressions lumineuses colorées.* Compt. Rend. No. 21. S. 1189. Gaz. méd. de Paris. No. 23. S. 329. Franç. méd. 64. Journ thérap. 11.
4625. GIRAUD-TEULON. *Des aberrations du sens chromatique ou du daltonisme.* Arch. gén de méd. No. 1. S. 52—72. No. 2. S. 176—198.
4626. v. HASNER. *Ueber Farbensehen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Januar.
4627. H. HELMHOLTZ. *Vorbemerkung zu einer nachgelassenen Abhandlung von Fr. Boll: Thesen und Hypothesen zur Licht- und Farbenempfindung.* du Bois-Reymond's Arch. Jahrg. 1881. S. 1—3.
4628. FR. HOLMGREN. *How do the colourblind see the different colours?* Proceed. of London Roy. Soc. No. 209.

29. Fr. Holmgren. *Comment les aveugles pour les couleurs voient les couleurs.* Upsala Läkaref. Förh. XVI. Beil. zu Heft 2/3. S. I—VIII.
30. — *Om ensidig färgblindhet.* Upsala Läkaref. Förh. XVI. S. 145—146.
31. — *Fall af ensidig violettblindhet.* Upsala Läkaref. Förh. XVI. S. 563.
32. Jaeger. *Die Farbenblindheit nach anderer Art beleuchtet.* Die Natur. No. 15.
33. B. J. Jeffries. *A peculiar expression of the eyes of the color-blind.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. XVII. meeting. New-York. S. 208—211. — Transact. of the internat. med. Congr. VII. Sess. London. III. S. 121.
34. — *On some points in regard to color-blindness.* Journ. of nerv. and ment. disease. VIII. (3.)
35. A. de Keersmaecker. *Le daltonisme et les altérations du sens visuel.* Brüsels, Manceaux. Paris, Delahaye.
36. B. Kolbe. *Geometrische Darstellung der Farbenblindheit.* Petersburg, Kranz.
37. J. v. Kries u. M. v. Frey. *Ueber die Mischung der Spectralfarben.* Arch. f. (Anat. u.) Physiol. S. 336—353.
38. J. Macé de Lépinay u. W. Nicati. *Explication du symptôme héméralopie. (Daltonisme accidentel bleu.)* Rec. des act. du comité méd. d. Bouches-du-Rhône. Mai-Juli.
39. L. Mauthner. *Ueber das Wesen und die Bestimmung der Farbenblindheit.* Mitth. d. Wien. med. Doct.-Colleg. VII. (1./2.)
40. W. Preyer. *Ueber den Farben- und Temperatursinn mit besonderer Rücksicht auf Farbenblindheit.* Pflüger's Arch. Bd. 25. S. 31—100. (Auch separat. Bonn).
41. — *Zur Theorie der Farbenblindheit.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 1.
42. Rayleigh. *Experiments on Colour.* Nature. No. 24. S. 264.
43. A. Rene. *De la cécité des couleurs.* Gaz. des hôp. No. 4 u. 5.
44. A. Rosenstiehl. *Détermination des couleurs, qui correspondent aux sensations fondamentales à l'aide des diques rotatifs.* Compt. Rend. Bd. 92. S. 244—247.
45. — *Détermination de la distance angulaire des couleurs.* Compt. Rend. Bd. 93. S. 207—210.
46. — *Discussion de la théorie des trois sensations colorées fondamentales.* Compt. Rend. Bd. 92. S. 1286—1289.
47. — *Détermination des sensations colorées fondamentales, par l'étude de la répartition des couleurs complémentaires dans le cercle chromatique* Compt. Rend. XCII. S. 244.
48. P. Schubert *Ueber Farbenempfindung und Farbenblindheit.* Corresp. von u. für Deutschland. No. 463. 470. 474. 481.
49. Schuster. *Die Farbenblindheit.* Verh. u. Mitth. d. Siebenbürg. Ver. f. Naturwiss. in Hermannstadt. XXXI.
50. F. Smith. *Apparent decomposition of sunlight by intermittent reflecting surfaces.* Nature. XXIV. S. 141.
51. A. W. Soward. *Note on the recombination of the spectral colours by a second prism reversed.* Chem. News. 44. S. 267.
52. Ph. Steffan. *Beitrag zur Pathologie des Farbensinnes.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (2.) S. 1.
53. Szilagyi. *Ueber monoculares Mischen der Farben.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 28. S. 513.
54. Voigt. *Ueber Farbenempfindung und Farbenbezeichnung.* Die Natur. No. 8.

1882.

55. E. Albert. *Ueber die Aenderungen des Farbentones von Spectralfarben und Pigmenten bei abnehmender Lichtstärke.* Wiedemann's Ann. XVI. S. 129.
56. Bayer. *Ueber erworbene Farbenblindheit.* Prag. med. Wochenschr. No. 4. u. 5.
57. N. E. Brill. *Color-blindness from a cerebral lesion.* Chicago. Med. Rev. V. S. 162.
58. J. S. Burnett. *Color-blindness and color-perception.* Pop. Sc. Month. New-York. XXI. S. 86.
59. E. Chevreul. *Recherches relatives à la vision des couleurs.* Compt. Rend. Bd. 95. No. 21. S. 1086.
60. Cross. *Complementary colours.* Nature. XXVII. S. 150.
61. F. C. Donders. *Explications sur les systèmes chromatiques.* Ann. d'ocul. Bd. 87. S. 205.
62. — *Neue Untersuchungen über Farbensysteme.* Onderzoek. i. Labor. d. Utrecht. Hoogesch. Derde. Reeks. VII. S. 95.
63. E. v. Fleischl. *Ueber die Theorien der Farbenwahrnehmung.* Wien. med. Jahrb. S. 73.

4664. GAMALOBO. *Cécité des couleurs.* Rec. d'Ophthalm. S. 513.
4665. A. GEISSLER *Die Farbenblindheit, ihre Prüfungsmethoden und ihre pr Bedeutung.* Leipzig.
4666. GIRAUD-TEULON. *Physiologie de la vision.* Bull. acad. de Méd. (2.) XI. S. 12
4667. — *Théorie des sensations colorées.* Bull. Acad. de Méd. (2.) XI. No. 43.
4668. G. DE GRANDMONT. *De la vision des couleurs.* Bull. de la soc. de méd. Ann. d'Hyg. Juli.
4669. J. B. HANNAY. *Colour Perception.* Nature. XXV. S. 604.
4670. E. HERING. *Kritik einer Abhandlung von Donders: „Ueber Farbens* Jahrb. „Lotos". II. Prag. 33 S.
4671. HOH. *Eigenempfindungen über Farbenempfindungen.* Ber. d. naturf. Ges. i berg. XII. S. 31—34.
4672. R. HILBERT. *Das Verhalten der Farbenblinden gegenüber den Erscheinun Fluorescenz.* Königsberg, Hartung.
4673. — *Farbenblindheit.* Schrift. d. physiol.-ökonom. Ges. in Königsberg. XXIII.
4674. HORSTMANN. *Farbensinn und Farbenblindheit.* Dtsch. med. Wochenschr. 113. 126.
4675. B. J. JEFFRIES. *Color-names, Color-blindness and the education of the color-s our schools.* „Education". March.
4676. A. B. KIBBE. *Colour-Blindness.* Rocky Mountain. M. Times. Denver. I.
4677. J. KRAMER. *Untersuchungen über die Abhängkeit der Farbenempfindung Art und dem Grade der Beleuchtung.* Diss. Marburg.
4678. W. KROLL. *Ueber die günstigen Erfolge der Ausbildung des Farbensinnes.* Ce f. prakt. Augenheilkde. December.
4679. MACGOWAN. *Color-blindness.* Lancet. I. S. 77.
4680. J. L. MINOR. *Central color-scotoma.* Americ. Journ. of the med. Sc. April.
4681. OLIVER. *Color-blindness.* Philad. med. Times. XII. S. 212.
4682. — *Preliminary paper on the determination of a standard of color-sense for colour by daylight.* Arch. f. Ophthalm. XI. No. 1.
4683. RAYLEIGH. *Experiments on colour.* Nature. XXV. S. 64.
4684. C. ROBERTS. *Colour-blindness as a racial character.* Lancet. I. S. 124.
4685. W. ROSENBERG. *Einfaches Mittel, das Entstehen von Weiß bei Mischung mentärer Farben zu demonstriren.* Journ. d. russ. chem.-phys. Ges. XIV. S
4686. A. ROSENSTIEHL. *Recherches sur les lois de la vision des couleurs.* Bull. de industr. de Mulhouse, séance du 28 sept. 1881.
4687. — *De la sensation du blanc et des couleurs complémentaires.* Compt. Rend. No. 25. S. 1275 u. 1295.
4688. R. SCHELSKE. *Versuche über Farbenmischungen.* Wiedemann's Ann. XVI
4689. SCHNELLER. *Zur Frage vom Farbensinncentrum.* Arch. f. Ophthalm. XXVI S. 73.
4690. P. SCHUBERT. *Ueber Farbenempfindung und Farbenblindheit.* Corresp. von Deutschland. No. 111, 117, 126, 137. 139.
4691. SMITH. *Colour Perception.* Nature. XXVI. S. 30.
4692. J. STILLING. *Einige Bemerkungen über Farbenprüfung.* Centralbl. f. prakt. heilkde. VI. S. 35.
4693. SWAN. *Perception of Colour.* Nature. XXVI. S. 246.
4694. A. J. VAN DER WEYDE. *Die Systeme der Farbenblinden.* Arch. f. Ophth. X (2.) S. 1.
4695. — *Methodisch onderzoek der kleurstelsels van kleurblinden.* Diss. Utrecht.
4696. WHITMELL. *A natural experiment on complementary colours.* Nature. XXVI.

**1883.**

4697. OLE BULL. *Bemerkungen über den Farbensinn unter verschiedenen physiol. und pathologischen Verhältnissen.* Arch. f. Ophthalm. XXIX. (3.) S. 71.
4698. CARPENTER. *Color-blindness.* Cincin. Lancet. and Clin. n. s. XI. S. 362 u.
4699. A. CHARPENTIER. *Perceptions des couleurs à la périphérie de la rétine.* Arch. d'Op III. S. 12.
4700. — *La perception des couleurs et la perception des différences de clarté.* Compt. Bd. 96. S. 1079.
4701. — *La perception des couleurs et la perception de formes.* Compt. Rend. S. 858 u. 1079.

4702. A. Charpentier. *La perception du blanc et des couleurs complexes.* Compt. Rend. Bd. 96. S. 1239.
4703. E. Chevreul. *Considérations générales sur les méthodes scientifiques et applications à la méthode a posteriori de Newton et à la méthode a priori de Leibnitz.* Compt. Rend. Bd. 96. S. 1521—1545.
4704. Csapodi. *Egy adat a szinlátásnak a tárgylátástól való függetlenségéhez. (Zur Lehre der Unabhängigkeit des Farbensehens vom Objectsehen.)* Szemészet. No. 3
4705. H. R. Droop. *On Colour Sensation.* Philos. Mag. (5.) XV. S. 373—384. — London phys. Soc. V. S. 217—230.
4706. F. C. Donders. *Kleurvergelijkingen.* Utrecht. Onderzoek. (3.) VIII. S 170.
4707. — *Ueber Farbengleichungen.* Ber. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg S. 164.
4708. — *Nog eens: De Kleurstelsels naar aanleiding van Hering's Kritiek.* Utrecht. 126 S.
4709. Th. Engelmann. *Couleur et assimilation.* Arch. néerl. des sc. exact. et natur. XVIII. S. 29.
4710. Graham. *A novel experiment in complementary colours.* Nature. XXVII. S. 294.
4711. A. Gayet. *Du daltonisme.* Gaz. hebd. des sc. méd. de Bordeaux. 7. Januar.
4712. Giraud-Teulon. *Considerations on the doctrine of the three fundamental fibres of Young as the basis of a theory of the sensation of colour.* Monit. sc. Quesneville. Februar.
4713. — *Physiologie de la sensibilité chromatique.* Bull. Acad. de méd. Paris. (2.) XII. S. 524.
4714. Govi. *Modo per ottenere la sensazione del bianco colla rotazione rapida di uno spettro circolare.* Atti. R. dei Lincei. (3.) Trans. VII. S. 164—167.
4715. R. Hilbert. *Die Young-Helmholtz'sche und die Hering'sche Farbentheorie.* Humboldt. II. (8.
4716 R. J. Jeffries. *Colour-Blindness: Its dangers and its detection.* New ed. Boston.
4717 A. König. *Ueber den neutralen Punkt im Spectrum der Farbenblinden.* Verh. d. physik. Ges. in Berlin. 2 März. u. 16. Nov.
4718. — *Ueber den Ort der Schnittpunkte der Intensitätscurven für die drei Grundempfindungen im normalen Auge.* Verhandl. d. Physik. Ges. Berlin 2. März
4719. A Laurent. *Du daltonisme. étiologie, fréquence, dangers.* Thèse de Paris.
4720. J. Moutier. *Ueber die Mischung der Farben.* Bull. soc. philomat. 7 VII — Rep. d. Phys. XIX. S. 672-674.
4721. Th. Petruschefsky. *Ueber die mittlere Farbe (oder den Ton) einer vielfarbigen Oberfläche.* Journ. d. russ. chem.-phys. Ges. XV. S. 118-122.
4722. A. Rosenstiehl. *Définition des couleurs complémentaires.* Journ. de phys. 2. II. S. 120—123.
4723. — *De la sensation du blanc et des couleurs complémentaires.* Rev. clin. d'Ocul. IV. 1).
4724. H. Scheffler. *Die Theorie des Lichtes, physikalisch und physiologisch, mit specieller Begründung der Farbenblindheit.* Leipzig. 161 S.
4725. Seggel. *Untersuchungen auf Farbenblindheit und Pupillendistanz.* Festschr. d. ärztl. Ver. München.
4726. J. Stilling. *Ueber das Sehen der Farbenblinden.*

1884.

4727. Augstein *Ueber Störung des Farbensinnes bei Neuritis.* Arch f. Augenheilkde. XIV. S. 347.
4728. Bickerton. *Case of colour-blindness.* Liverpool. med.-chir. Journ. IV S. 421. — Brit. med. Journ. I. S. 225.
4729. L. Borthen *La perception visuelle, spécialement par rapport au sens des couleurs, expliquée par mouvement moléculaire.* Compt. rend. de la 8me sess. du Congr. per. internat. des sc. méd. Copenhagen.
4730. O. B Bull. *Farvesans.* Nord med. Ark. Stockholm. XV. No. 24 S. 1.
4731. S M. Burnett. *Theories of colour perception.* Philadelphia. Americ. Journ. med. sc. Bd. 88. S. 70
4732. — *Die Farbenempfindung und Farbenblindheit.* Arch. f. Augenheilkde. XII. 2. 3.) S. 241.
4733 — *Are there separate centres for light-, form- and color-perception?* Arch. of Med. Vol. XII. No. 2. S. 97.
4734. A. Charpentier. *Recherches sur la perception différentielle des couleurs.* Arch d'Ophthalm. S. 488

4735. A. Charpentier. *Nouvelles séries d'expériences sur la perception différentielle couleurs.* Acad. de sc. 26. Mai. — Union méd. No 79. S. 971.
4736. E. Chevreul. *De la vision de la couleur.* Gaz. hebd. No. 1. S. 7.
4737. G. St. Clair. *Spectrum colours, colour sensations and after images. Suggestions extending the dynamical theory.* Proc. of the Birmingh. philos. Soc. IV. (1.) S. Ophthalm. Rev. III. S. 97.
4738. F. C. Donders. *Equations de couleurs spectrales simples et de leur mélanges bin dans les systèmes normaux (polychromatiques) et anormaux (dichromatiques).* A Néerl. XIX. S. 303—346.
4739. — *Farbengleichungen.* Du Bois-Reymond's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 518—
4740. — *Proeve eener genetische verklaring van den kleurzin.* Nederl. Tijdschr. v. Gene XX. S. 69. 89.
4741. — *Noch einmal die Farbensysteme.* v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXX. (1.) S.
4742. J. Eichler. *122 Farbentafeln zur Farbenlehre.* 2. Aufl. Wien, Klinkhardt.
4743. Fano. *Etat de faculté chromatique de l'oeil chez les sujets atteints d'amaurose.* Jo d'Ocul. S. 131. 143.
4744. R. Hilbert. *Zur Kenntnifs der pathologischen Farbenempfindungen. Ein Ver einer Pathologie der Farbenempfindungen.* Betz' Memorabilien. XXIX. (9.) S. 526—
4745. — *Beiträge zur Kenntnifs der Farbenblindheit.* Pflüger's Arch. XXXIII. S. 29
4746. F. Holmgren. *Bidrag till en kritik af Hering's färgteori.* (Vorl. Mitth Upsala Läkaref. Förh. XIX. S. 245.
4747. — *Beitrag zur Young-Helmholtz'schen Theorie der Farbenempfindung.* Verh intern. med. Congr. zu Kopenhagen. 1884.
4748. Jacobson. *Ueber die Abhängigkeit der Farbensinnstörungen von Krankheiten Retina und des Nervus opticus.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. October.
4749. J. E. Johansson. *Undersökning af färgsinnet i blinda fläckens närmaste omgi* Upsala Läkaref. Förh. XIX. S. 491.
4750. A. König. *Ueber Farbensehen und Farbenblindheit.* Verh. d. physiol. Ges Berlin. 1884/85. No. 1.
4751. — *Zur Kenntnifs dichromatischer Farbensysteme.* Wiedemann's Ann. XXII. S. — Gräfe's Arch. XXX. (2.) S. 155—170.
4752. — *Ueber die bisher gemachten Bestimmungen der Wellenlängen einfacher ele mentärer Farben.* Verh. d. physik. Ges. Berlin. 13. Juni.
4753. B. Kolbe. *Zur Analyse der Pigmentfarben.* Graefe's Arch. XXX. (2.) S. 1.
4754. — *Nachtrag zur „Analyse der Pigmentfarben".* Graefe's Arch. f. Ophthalm. X (4.) S. 313.
4755. — *Ueber die Nothwendigkeit der Bestimmung der Helligkeit der Pigmentfar welche bei Untersuchung des Farbenerkennungsvermögens benutzt werden.* Wes ophthalm. Juni-October.
4756. F. Küster. *Der Farbensinn ein höchst verfeinerter Temperatursinn.* Corr.-B. dtsch. Ges. f. Anthropol. München. XV. S. 4.
4757. E. Miéville. *Nouvelle méthode de détermination quantitative du sens lumineux chromatique.* Arch. d'ophthalm. März-April.
4758. Offert u. Rayleigh. *Colour-Blindness.* Engineering. XXXVIII. S. 41.
4759. H. Parinaud. *De l'intensité lumineuse des couleurs spectrales; influence de l'adap rétinienne.* Compt. Rend. Bd. 99. S. 937.
4760. A. Rosenstiehl. *Colour.* Nature. XXXI. S. 58.
4761. C. B. Stemer. *Color-blindness.* Fort Wayne Journ. of med. sc. IV. S. 1.
4762. E. v. Szilagyi. *Ueber Bestimmung der Einwirkungsenergie der Pigmentfarb* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 17.
4763 T. Tommassi. *Le memoire locali e il Daltonismo.* Sperimentale. LIII. S. 64.

1885.

4764. W. R. Amick. *Light and color.* Cincin. Lancet a. Clinic. XV. S. 61.
4765. W. v. Bezold. *Ueber Herstellung des Farbendreiecks durch wahre Farbenmis* Münch. Ber. S. 305—324. — Wiedem. Ann. XXVI. S. 390—406.
4766. O. Bull. *Farvesenstabeller.* Forh. Norske med Selsk. i Kristiania. S. 48.
4767. S. M. Burnett. *Are there separate centres for light-, form- and color-percep* Washington. Bull. Phil. Soc. VIII. S. 72.
4768. J. Charpentier. *Définition, classification et notation des couleurs.* Compt. Ren Bd. 100. S. 808—810.

169. J. Charpentier. *Théorie de la perception des couleurs.* Compt. Rend. Bd. 101. S. 275—277.
170. Cunningham. *On the Colour-sense.* Nature. XXXII. S. 604—605.
171. W. Dobrowolsky. *Ueber den Unterschied in der Farbenempfindung bei Reizung der Netzhaut an einer und an mehreren Stellen zu gleicher Zeit.* Pflüg. Arch. XXXV. S. 536—541.
172. Th. Gray. *Colour blindness.* London. 435 S.
173. M. Heaton. *The Sense of Colour.* Nature. XXXII. S. 626.
174. E. Hering. *Ueber individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes.* Lotos. N. F. VI.
175. — *Bemerkungen zu A. König's Kritik einer Abhandlung über individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IX. S. 327—332.
176. R. Hilbert. *Das Verhalten der Farbenblinden gegenüber der anomalen Dispersion.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 233.
177. — *Die subjectiven Farben und die Hering'sche Farbentheorie.* Betz' Memorab. XXX. (2.) N. F. V. S. 65.
178. — *Zur Physiologie der Retina.* Pflüg. Arch. XXXVII. S. 123—126.
179. A. König. *Ueber Farbensehen und Farbenblindheit.* du Bois' Arch. f. Physiol. S. 160.
180. — *Ein Fall pathologisch entstandener Violett-Blindheit.* Verh. d. Berl. physik. Ges. IV. S. 65—69.
181. — *Zur Kritik einer Abhandlung von Herrn E. Hering: Ueber individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Sept. S. 260.
182. B. Kolbe. *Zur Vergleichbarkeit der Pigmentfarbengleichungen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Juliheft. S. 193.
183. J. v. Kries und Brauneck. *Ueber einen Fundamentalsatz aus der Theorie der Gesichtsempfindungen.* Dubois' Arch. S. 79—84.
184. A. Lehmann. *Versuch einer Erklärung des Einflusses des Gesichtswinkels auf die Auffassung von Licht und Farbe bei directem Sehen.* Pflüger's Arch. XXXVI. S. 580—639.
185. E. L. Nichols. *On the Sensitiveness of the Eye to Colors of a Low Degree of Saturation.* Silliman's Journ. (3.) XXX. S. 37—41.
186. H. Parinaud. *Sur l'existence de deux espèces de sensibilité à la lumière.* Compt. Rend. Bd. 101. S. 821.
187. F. Petruschefsky. *Ueber Farben bei künstlicher Beleuchtung.* Journ. d. russ. phys.-chem. Ges. XVII. (Phys. Theil.) S. 35—42.
188. C. Roberts. *The detection of colour-blindness and imperfect eyesight.* 2. Ausg. London.
189. A. Rosenstiehl. *Recherches sur les couleurs.* Rev. Sc. XXXV. S. 765.
190. *Colour-blindness in Germany.* Lancet. I. S. 140.
191. *Colour-blindness.* Lancet. I. S. 764.

1886.

192. Bickerton. *Colour-blindness.* Liverpool med.-chir. Journ. VI. S. 369.
193. — *Remarks on colour-blindness.* Lancet. II. S. 392.
194. E. A. Browne. *Painting by a colour-blind artist.* Transact. of the ophthalm. soc. of the unit. kingd. VI. S. 443. — Ophthalm. Rev. S. 111.
195. Dekkers. *Physiologie de la perception des couleurs.* Rec. d'Ophthalm. S. 129.
196. Favre. *Le pronostic du daltonisme.* Arch. d'Ophthalm. VI. S. 229.
197. R. Feret. *Essai d'application du calcul à l'étude des sensations colorées.* Compt. Rend. Bd. 102. S. 44—47.
198. — *Vérification expérimentale d'une nouvelle représentation géométrique des sensations colorées.* Compt. Rend. Bd. 102. S. 256—259.
199. A. E. Fick. *Einige Bemerkungen über Farbenempfindung.* Pflüger's Arch. XXXIX. S. 18—20.
200. P. Glan. *Ein Grundgesetz der Complementarfarben.* Pflüger's Arch. XXXIX. S. 53—61. — Wien. Ber. XCII. S. 908—913.
201. E. Hering. *Ueber Newton's Gesetz der Farbenmischung.* Lotos, naturwiss. Jahrb. VII. S. 177. — Leipzig, Freytag. 92 S.
202. R. Hilbert. *Ueber die Erkennlichkeit der Farben bei herabgesetzter Beleuchtung.* Memorab. Heft 1.
203. — *Ueber Farbensehen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Febr. S. 43.

4804. R. Hilbert. *Beitrag zur Kenntnifs der transitorischen Farbenblindheit.* Augenheilkde. XVI. S. 417.
4805. — *Zur Kenntnifs der permanenten Lichtempfindung.* Memorab. Heft 4.
4806. A. König und C. Dieterici. *Die Grundempfindungen und ihre Intensitäts- im Spectrum.* Sitzgs.-Ber. d. preufs. Acad. d. Wiss. in Berlin. 29. Juli.
4807. F. Holmgren. *Beitrag zur Young-Helmholtz'schen Theorie der Farbenemp* Verh. d. physiol. Ges. zu Berlin. No. 18. — Verhandl. d. Skandinav. Natu Vers. in Christiania. 1886.
4808. E. Netz. *Farbenblindheit oder Farbenunkenntnifs?* Pädagogische Studi farbenblinden Lehrers. Jena.
4809. Trève. *Essai d'une explication physiologique des couleurs complémentaires.* Rend. Bd. 102. S. 984.
4810. Webster, Fox und G. W. Gould. *On heat considered as the retinal interme light and color sensation.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 175.
4811. — *The human color-sense considered as the organic response to natural* New York. 20 S. — Americ. Journ. of Ophthalm. S. 233.

1887.

4812. T. W. Backhouse. *The perception of colours.* Nature. XXXVI. S. 531.
4813. W. v. Bezold. *Ueber eine neue Methode zur Zerlegung des weifsen Lich Complementärfarben.* Wiedem. Ann. XXXII. S. 165—167.
4814. Bickerton. *Colour-blindness; its present position in the mercantile marine* Brit. med. Journ. II. S. 498.
4815. Dogiel. *Ueber den Einflufs von Spectrumfarben auf die Menschen und T* (Russisch.) Abh. d. II. Congr. d. russ. Aerzte zu Moskau. II. S. 3.
4816. G. Govi. *Du cercle chromatique de Newton.* Compt. Rend. Bd. 105. S. 733—
4817. E. Hering. *Ueber Holmgren's vermeintlichen Nachweis der Elementarempfind des Gesichtssinnes.* Arch. f. d. ges. Physiol. XLI. S. 1—46.
4818. — *Beleuchtung eines Angriffes auf die Theorie der Gegenfarben.* Arch. f. d. Physiol. XL. S. 29—46.
4819. — *Gegenbemerkung an Kries.* Pflüger's Arch. Bd. 41. S. 397.
4820. M. Knies. *Ueber die Grundfarben* Ber. d. XIX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 70.
4821. — *Ueber Farbenempfindung und Farbenstörungen.* Erster Theil. Arch. f. Augenheilkde. XVII. S. 379—403. Zweiter Theil. XVIII. S. 50—65.
4822. A. König. *The modern development of Thomas Young's theory of colour* Rep. Brit. assoc. advanc. sc. for 1886. S. 431. (Uebersetzt und mit Noten sehen: Naturwissenschaftl. Rundschau. 1886. Extrabeilage zu No. 50.)
4823. — *Ueber Newton's Gesetz der Farbenmischung und darauf bezügliche Vers Herrn Eugen Brodhun.* Sitzgs.-Ber. d. Königl. Preufs. Acad. zu Berlin. S. bis 317.
4824. J. v. Kries. *Zur Theorie der Gesichtsempfindungen.* Du Bois' Arch. f. Phys (1/2.) S. 113—119.
4825. — *Entgegnung an Herrn E. Hering.* Pflüger's Arch. XLI. S. 389—397.
4826. J. T. Rudall. *Colour-blindness and other defects of sight in some of their med aspects.* Melbourne 20 S.
4827. C. E. Stromeyer *Perception of colour.* Nature. XXXV. S. 246 u. XXXVII.
4828. H. W. Vogel. *Ein Mischfarbenexperiment.* Verh. d. Physik. Ges. Berlin S. 28—29.
4829. G. F. Waters. *Colour-blindness.* Science. X. S. 179.

1888.

4830. E. Brodhun. *Ueber das Leukoskop.* Wiedemann's Ann. XXXIV. S. 897.
4831. G. A. Calderon. *Hemiacromatopsia derecta absoluta; conservación parcial perccpción luminosa y de las formas.* Revista di Oftalm. XII. S. 337.
4832. A. Charpentier. *La lumière et les couleurs au point de vue physiologique.* Baillière & f.
4833. A. Favre. *Persistance de la guérison du Daltonisme congénital traité par* Gaz. hebd. de méd. (2.) XXXVI. S. 598.
4834. K. Grossmann. *Colour-blindness.* Brit. med. Journ. II. S. 275.
4835. E. Hering. *Zur Theorie der Vorgänge in der lebendigen Sustanz.* Lotos II sep. Prag. 36 S.

6. D. Isaachsen. *Zur Farbenlehre.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLIII. S. 289 bis 294.
7. M. Knies. *Ueber Farbenempfindung und Farbenstörungen.* Dritter Theil. Arch. f. Augenheilkde. XIX. S. 253—263.
8. — *Objective Demonstration der Farbengrundempfindungen.* Ber. d. intern. Ophthalm.-Congr. zu Heidelberg. S. 186.
9. J. v. Kries. *Nochmalige Bemerkung zur Theorie der Gesichtsempfindungen.* Du Bois' Arch. S. 380—388.
0. G. Mackay. *A discussion on a contribution to the study of hemianopsia, with special reference to acquired colour-blindness.* Brit. med. Journ. II. S. 1033. — Ophthalm. Rev. S. 272.
E. dal Pozze. *La discromatopsia. Studi sulla visione dei colori.* Foligno. S. 370.
O. C. Rios. *De la cromatopseudopsia ó ceguera de los colores.* Rev. méd. de Chile. Sant. de Chile. 1888/89. S. 385.
H. W. Vogel. *Beobachtungen über Farbenwahrnehmungen.* Naturwiss. Rundsch. No. 15. S. 185.
*Sulla cromatoscopia retinica nelle atrofie papillari.* Boll. d'oculist. Florenz. (2.) X S. 1.

1889.

G. Albertotti. *Osservazioni sopra dipinti per rilevare alterazioni nella funzione visiva degli artisti.* Modena 1889.
Dekeres. *Quelques aperçus sur les meilleurs moyens à prendre pour dresser une échelle chromatique.* Rec. d'Ophthalm. S. 585—597.
E. Dreher. *Neue Farbenphänomene, ihre Erklärung und Bedeutung für unsere heutige Theorie der Farbenwahrnehmung.* Naturwiss. Wochenschr. Bd. IV. S. 260—262.
A. Favre. *Notes pathologiques sur la fausse appréciation des couleurs.* Lyon. méd. Bd. 62. No. 41. 44. 45. 46. 47.
F. W. Edridge-Green. *Colour-blindness and colour-perception.* Ophthalm. Rev. April. — Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 172. — Arch. f. Augenheilkde. XXI. (1.) S. 119.
— *The detection of colour-blindness.* Brit. med. Journ. II. S. 1036.
Ch. Henry. *Sur un cercle chromatique, un rapporteur et un décimètre esthétique.* Compt. Rend. CVIII. S. 169.
— *Cercle chromatique, présentant tous les compléments et toutes les harmonies de couleurs, avec une introduction sur la théorie générale de la dynamogénie, autrement dit du contraste, du rhythme et de la mesure.* Paris.
F. Hillebrand. *Ueber die specifische Helligkeit der Farben. Beiträge zur Psychologie der Gesichtsempfindungen mit Vormerkungen von E. Hering.* Sitzgs.-Ber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Math.-naturwiss. Kl XCVIII. 3. Abth. S. 70—122.
A. Hodgkinson. *Colour and its relation to the structure of coloured bodies.* Mem. and Proc. Manchester. literar. and philos. 4 ser. S. 198.
— *On the physiological phenomena of colour sensation.* Mem. a. Proc. Manchester Literar. a. Philos. Soc. (4.) II. S. 215.
M. Knies. *Ueber Farbensinnstörung bei Sehnervenleiden.* Ber. über. d. XX. Vers. d. ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 7—11.
A. P. Laurie. *On Artist's Colours.* Rep. Brit Assoc. Newcastle-upon-Thyne. S. 541.
C. Lucanus. *Ueber die Schwäche des Farbensinnes.* Arch. f. Augenheilkde. XXI. (1.) S. 41—50.
J. Spiller. *An experiment in colour-blindness.* Rep. of the Brit. Assoc. for 1889. S. 518. — Photogr. News. 20. Septbr.
A. Stevens. *Color-blindness.* Science. XIII. S. 39.
H. Würdemann. *Color perception.* Amer. Journ. of Ophthalm. S. 163.
*Color-blindness.* Science. XIII. S. 91.
*Colour-blindness and defective far-sight among the seamen of the mercantile marine.* Nature. S. 438.

1890.

A. Bergh. *Der Farbensinn nebst angeborener und erworbener Farbenblindheit.* Stockholm.
Berry. *A suggestion as to the function of some of the retinal elements.* Ophthalm. Rev. Mai. S. 135.

4866. Berry. *Critical remarks on the theories of fundamental colour sensat* Ophthalm. Hosp. Rep. XIII. (1.)
4867. Bickerton. *Colour-blindness. A criticism of the Board of Trade tests.* Brit. : Journ. 8. März. No. 1523.
4868. R. Brudenell Carter. *Colour-Vision and Colour-Blindness. Lecture deliver the Royal Institution.* Nature. 15. Mai. S. 55—61.
4869. E. Canestrini. *Esperienze di ottica fisiologica.* Atti della Soc. Ven. Trentin Scienze Naturali. XI.
4870. J. Lardner Green. *On colour-blindness.* Brit. med. Journ. 1. Febr.
4871. Ch. Henry. *La lumière, la couleur et la forme.* Rev. Sc. XLVI. No. 10 u. 12.
4872. E. Hering. *Die Untersuchung einseitiger Störungen des Farbensinnes mittels ocularer Farbengleichungen.* v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. 3. Abth. S. 1-
4873. — *Prüfung der sogenannten Farbendreiecke mit Hülfe des Farbensinnes excentri Netzhautstellen.* Pflüger's Arch. XLVII. S. 417—438.
4874. C. Hess. *Ueber die Tonänderungen der Spectralfarben durch Ermüdung der haut mit homogenem Lichte.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. Abth. 1. S. 1-
4875. F. Kreyssig. *Ueber perverse Lichtempfindung.* Mitth. a. d. ophthalm. Kli Tübingen. II. S. 329.
4876. C. Kroman. *Sur le système de nos sensations des couleurs.* Overs. K. Dansk. Sels. Forh. S. 295—310.
4877. G. Mackay. *Colour-blindness.* Brit. med. Journ. No. 1562. S. 1251.
4878. — *Colour-blindness and defective sight in relation to public duty.* Brit. med. J. No. 1568. S. 123.
4879. C. A. Oliver. *Another theory of defective colour-vision (colour-blindness).* E med. Journ. XXXVI. S. 325.
4880. M. Reich. *Zur Pathologie der Farbenempfindung.* (Russisch) Sitzgs.-Ber. d. Ka med. Ges. XXVII. No. 13.
4881. A. Schuster. *Experiments with Lord Rayleigh's Colour Box.* Proc. of the Soc. XLVIII. No. 293. S. 140—149.
4882. O. Sommerville. *Another theory of defective colour vision (colour-blindness).* E med. Journ. No. 424. S. 325.
4883. G. L. Swanston. *Colour-blindness amongst seamen.* Lancet. II. S. 1111.
4884. J. L. Thompson. *The abuse of alcohol and tobacco a cause of aquired colour-blind* Kausas City med. Record. August.
4885. H. W. Vogel. *Ueber Farbenwahrnehmungen.* Verh. d. physik. Ges. zu B Jahrg. 9. No. 1.

1891.

4886. W. de W. Abney. *On the examination for colour of cases of tobacco scotoma of abnormal colour-blindness.* Proc. of the Roy. Soc. XLIX. S. 491—509.
4887. — *The numerical registration of colour.* Preliminary Note. Proc. of the Roy. XLIX. S. 227—233.
4888. — *Colour Measurement and Mixture.* London. Soc. for promoting Chris Knowledge.
4889. A. Charpentier. *Phénomènes de coloration apparente observés sous l'infl d'excitations lumineuses instantanées.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. S. 596—599.
4890. — *Remarques et expériences au sujet de la coloration entoptique des lumières instantanées.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. (26.) S. 601—604.
4891. F. W. Edridge-Green. *Colour-blindness and colour-perception.* Brit. med. Journ. No. 1 S. 1356.
4892. H. v. Helmholtz. *Kürzeste Linien im Farbensystem.* Berl. Sitzgs.-Ber. 17. I S. 1071—1083. — Zeitschr. f. Psychol. III. S. 118—122.
4893. — *Versuch, das psychophysische Gesetz auf die Farbenunterschiede trichromat Augen anzuwenden.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 1—20.
4894. E. Hering. *Untersuchung eines total Farbenblinden.* Pflüger's Arch. Bd. S. 563—609.
4895. E. Lommel. *Berechnung von Mischfarben.* Abh. d. k. bayr. Akad. d. Wiss. Münch Franz 25 S. — Wied. Ann. Bd. 43. S. 473—497.
4896. M. Sachs. *Ueber die specifische Lichtabsorption des gelben Fleckes der Netzh* Pflüger's Arch. Bd. 50. S. 574—587.

**1892.**

97. W. de W. Abney and E. R. Festing. *Colour Photometry.* London, Phil. Transact. Vol. 183. S. 531—565.
98. A. Angelucci. *L'occhio et la Pittura.* Diss. inaug.
99. Bickerton. *On colour-blindness.* London, Macmillan.
00. A. Chauveau. *Couleurs fondamentales.* Acad. des Scien. 21./28. Novbr.
01. Galezowski. *De l'hémianopsie chromatique dans une amblyopie nerveuse.* Rec. d'ophthalm. No. 10. S 576
02. Guaita. *Prufung der Gemälde von Beccafumi mit Rücksicht auf die Farbenempfindung des Malers.* XIII. Congr. d ital. ophthalm. Ges. in Palermo. April.
03. A. König u. C. Dieterici. *Die Grundempfindungen in normalen und anomalen Farbensystemen und ihre Intensitätsvertheilung im Spectrum.* Zeitschr. f. Psychol. IV. S. 241—347. Auch sep. Hamburg, L. Voss. 107 S.
04. W. Pole. *Some unpublished data on colour-blindness.* Philos. Mag. (5) 34. S. 100—114.
05. — *Further data on colour-blindness. II.* Philos. Mag. (5.) 34. S. 439—443.
06. O. N. Rood. *On a colour System.* Americ. Journ. of science XLIV. S. 263—270.
07. Rutherford. *On colour sense.* Proc. of the Roy. Soc. of Edinb.

**1893.**

08. W. de W. Abney. *The sensitiveness of the eye to light and colour.* Nature. XLVII. S. 538—542.
09. W. Baily. *Notes on the construction of a colour map.* Philos. Mag. (5.) XXXV. S. 46—47.
10. E. Brodhun. *Die Gultigkeit des Newton'schen Farbenmischungsgesetzes bei dem sog. grünblinden Farbensystem.* Zeitschr. f. Psychol. V. S 323—334.
11. de Dantec. *De la sensibilité colorée.* Soc. d'anat et de physiol. de Bordeaux. 26. Juni. — Compt. Rend. de la Soc. de Biol (9.) V. S. 718—722.
12. C. Ladd-Franklin. *On theories of light-sensation.* Mind. (N. S.) II. No. 8. S. 473—490.
13. P. Glan. *Zum Grundgesetz der Complementarfarben.* Wiedemann's Ann. f. Phys u. Chem. Bd. 48. S. 307—327.
14. J. B. Haycraft. *A new Hypothesis concerning Vision.* Proceed. of the Roy. Soc LIII. No. 322. S. 78. LIV. No 327. S. 272—274.
15. E. Hering. *Ueber den Einfluss der Macula lutea auf spectrale Farbengleichungen.* Pflüger's Arch. Bd. 54. S. 277—312.
16. J. W. Lovibond. *Measurement of light and colour sensations.* George Gill & Sons, London.
17. W. Pole *Further data on colour-blindness. III.* Philos. Mag. Jan. S. 52—62.
18. — *Further data on colour-blindness. IV.* Philos. Mag XXXVI. No. 219 S. 188—195.
19. — *Data on the phenomena of colour-blindness, chiefly derived from foreign sources.* Proc. of the Roy. Soc. of Edinb. 16. Jan. XX S 103—140.
20. — *On the present state of knowledge and opinion in regard to colour-blindness.* Transact. of the Roy. Soc. of Edinb. XXXVII. 2. No. 22. S. 441—479.

**1894.**

21. A. Angelucci. *La funzione visiva dei vecchi e i suoi effetti sull' impiego del colore in pittura.* Arch. di Ottalm. II. S. 3 u. 69
22. R. B. Carter. *The quantitative determination of colour vision.* The Lancet No. 3681. S. 665.
23. Cognacq *De la sensibilité colorée.* Thèse de Bordeaux. 1893—1894.
24. Dufour. *A propos de la theorie de la vision des couleurs.* Ann. d'ocul CXI. S. 350—371.
25. E. Hering. *Ueber angebliche Blaublindheit der Fovea centralis.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 59. S. 403—414.
26. R. Hilbert *Die individuellen Verschiedenheiten des Farbensinnes zwischen den Augen eines Beobachters.* Pflüger's Arch. f d. ges. Physiol. Bd. 57 S. 61—64.
27. A. König. *Ueber den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung fur das Sehen* Sitzgs.-Ber. d Acad. d. Wiss. zu Berlin. S 577—598.
28. W. Nicati. *Esthesiométrie et photométrie oxyopiques.* Arch. d'Ophthalm. XIV. 5. S. 297—302

4866. BERRY. *Critical remarks on the theories of fundamenta'*
Ophthalm. Hosp. Rep. XIII. (1.)
4867. BICKERTON. *Colour-blindness. A criticism of the Board of*
Journ. 8. März. No. 1523.
4868. R. BRUDENELL CARTER. *Colour-Vision and Colour-Bli*
*the Royal Institution.* Nature. 15. Mai. S. 55—61.
4869. E. CANESTRINI. *Esperienze di ottica fisiologica.*
Scienze Naturali. XI.
4870. J. LARDNER GREEN. *On colour-blindness.* Brit
4871. CH. HENRY. *La lumière, la couleur et la forme*
4872. E. HERING. *Die Untersuchung einseitiger S'*
*ocularer Farbengleichungen.* v. Graefe's Arch.
4873. — *Prüfung der sogenannten Farbendreieck*
*Netzhautstellen.* Pflüger's Arch. XLVII.
4874. C. HESS. *Ueber die Tonänderungen de*
*haut mit homogenem Lichte.* Graefe's
4875. F. KREYSSIG. *Ueber perverse Lich*
Tübingen. II. S. 329.
4876. C. KROMAN. *Sur le système de n*
Sels. Forh. S. 295—310.
4877. G. MACKAY. *Colour-blindness.*
4878. — *Colour-blindness and defec'*
No. 1568. S. 123.
4879. C. A. OLIVER. *Another tl*
med. Journ. XXXVI. S.
4880. M. REICH. *Zur Patholog*
med. Ges. XXVII. No ... 14. S. 316—
4881. A. SCHUSTER. *Exper*
Soc. XLVIII. No. 2'
4882. O. SOMMERVILLE. ... *von Grundfarben.* Arch. f. Ophthalm.
med. Journ. No.
4883. G. L. SWANSTON

1881.

4884. J. L. THOMPSON ... *otheseu zur Licht- und Farbenempfindung.* Mit einer
Kansas City ... mholtz. Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. S. 1—
4885. H. W. Vo ... *len Farben- und Temperatursinn mit besonderer Rücksicht*
Jahrg. 9. ... Pflüger's Arch. Bd. 25. S. 31—100. — Sep. Bonn.

1882.

4886. W. DE ... *Théorie de la perception des couleurs.* Arch. d'Ophthalm. II.
*of abr* ... *theories scientifiques du sens des couleurs Hering.*
4887. — T ... Rev. Scientif. Paris. XXX. S. 132.
XL ... *naturelle. Le sens des couleurs.* Paris. Cap. VI.
4888. —

1884.

4889. ... *Una nuova teoria sulla visione.* Communic. preventiva pres
... med. di Roma. 14. Juli.
... *A correlation theory of Color-perception.* Philadelphia med.
48 ... XIV. S. 715.

1885.

... *Eine neue Theorie über den Sehact.* Allg. Wien. med. Zeitg. S.
...
... OLIVER. *A correlation theory of Color-perception.* Americ. Journ.
... Philadelphia. Bd. 89. S. 98—127, 462—482.
... *Influence inégale de l'adaptation rétinienne sur les lumières de*
*... différente; la sensibilité dans la macula et les parties périphériques*
*... visuel.* Bull. et mém. Soc. franç. d'ophthalm. III. S. 329.

1886.

... A. ANGELUCCI *Una nuova theoria sulla visione. Terza communicazione*
Cagliare.
... *Une nouvelle théorie de la vision.* Rec. d'ophthalm. S. 34.
... S. M. BURNETT. *The new theory of color-perception.* Americ. journ. of
Vol. III. S. 278—280.

1887.

4953. GRADENIGO. *Sulla teoria di Angelucci.* Ann. di Ottalm. S. 450.

1888.

4954. A. GOELLER. *Die Analyse der Lichtwellen durch das Auge.* Du Bois' Arch. f. Physiol. S. 139—162.

4955. G. NORRIE. *Dr. Waldemar Krenchel's mechaniske teori for lysfornemmelsen. (K.'s mechanische Theorie der Lichtempfindung.)* Ugeskrift f. läger. (4). XVIII. No. 19, 20 u. 21.

4956. W. WUNDT. *Die Empfindung des Lichtes und der Farben.* Philos. Stud. IV. S. 312 bis 389.

1889.

4957. CH. V. BURTON. *Versuche über Farbenwahrnehmung und über eine photoelektrische Theorie des Sehens.* Proc. of the Cambridge Phil. Soc. VI. S. 308.

4958. G. NORRIE. *Waldemar Krenchel's Grundzüge einer mechanischen Theorie der Lichtempfindung.* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XIII. S. 145—159.

4959. PREOBRASCHENSKY. *Hypothese des Farbensehens.* Journ. russ. phys.-chem. Ges. XXI. Phys. Teil. S. 248—259. — Journ. de Phys. (2.) IX. S. 538. (1890.)

1890.

4960. F. W. EDRIDGE-GREEN. *A new theory of colour-blindness and colour-perception.* Proc. of the roy. soc. XLVII. S. 176.

1891.

4961. R. E. LIESEGANG. *Theorien der Farbenempfindung.* Phot. Arch. April.

1892.

4962. CHR. LADD-FRANKLIN. *Eine neue Theorie der Lichtempfindungen.* Zeitschr. f. Psychol. IV. S. 211—221.

1893.

4963. H. EBBINGHAUS. *Theorie des Farbensehens.* Zeitschr. f. Psychol. V. S. 145—238. Auch sep.. Hamburg, L. Voss. 94 S.

1894.

4964. C. LADD FRANKLIN. *Prof. Ebbinghaus' theory of colour vision.* Mind. (N. S.) III No. 9. S. 98—105.

4965. J. v. KRIES. *Ueber den Einfluſs der Adaptation auf Licht- und Farbenempfindung und über die Function der Stäbchen.* Ber. d. naturf. Ges. zu Freiburg i. B. IX. (2.) S. 61—70. — Freiburg i. B., Mohr. 14 S.

4966. W. NICATI. *Principes de chroologie ou synthèse physiologique de la couleur.* Compt. Rend. de l'Acad. des Sienc. Bd. 119. S. 917—919.

4967. H. PARINAUD. *La sensibilité de l'oeil aux couleurs spectrales; fonctions des élements rétiniens et du pourpre visuel.* Ann. d'ocul. Bd. 112. (4.) S. 228

4968. D. TURNER. *A theory of electrical vision.* The Lancet. No. 3722. S 1585.

## d) Peripheres Farbensehen.

1870.

4969. J. CL. MAXWELL. *On colour vision at different points of the retina.* Engineer. XXX. S. 268. Rep. Brit. Assoc. XL. Liverpool 40.

4970. M. WOINOW. *Zur Farbenempfindung.* Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 212.

1872.

4971. E. RAHLMANN. *Ueber Farbenempfindung in den peripherischen Netzhautpartien in Bezug auf normale und pathologische Brechungszustände.* Halle. Inaug.-Diss.

1873.

4972. A. FICK. *Zur Theorie der Farbenblindheit.* Verh. d. physik.-med. Ges. zu Würzburg. N. F. V. S. 129.

4973. E. LANDOLT. *Farbenperception der Netzhautperipherie.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XI. S. 376—377.

1874.

4974. KRÜKOW. *Objective Farbenempfindungen auf den peripherischen Theilen der Netzhaut.* Arch. f. Ophthalm. XX. (1.) S. 255. — Moskauer ärztl. Anz. No. 15 u. 16.

4975. E. LANDOLT. *De la perception des couleurs à la periphérie de la rétine.* Ann. d'Ocul. S. 1.

4976. E. RÄHLMANN. *Ueber Verhältnisse der Farbenempfindung bei indirectem und Sehen.* Arch. f. Ophthalm. XX. (1.) S. 15.

1875.

4977. A. CHODIN. *Zur Lehre von den Farbenempfindungen auf der Peripherie der N* Petersb. med. Anz. No. 10—13.

4978. KLUG. *Ueber Farbenempfindung bei indirectem Sehen.* Arch. f. Ophthalm. X S. 251—295.

4979. TREITEL. *Prüfung des Gesichtsfeldes mit Pigmentfarben.* Diss. Königsberg

4980. — *Ueber das Verhalten der peripheren und centralen Farbenperception bei nervi optici.* Inaug.-Diss. Königsberg.

1877.

4981. A. CHARPENTIER. *De la vision avec les différentes parties de la rétine.* A physiol. No. 6.

4982. A. CHODIN. *Ueber die Empfindlichkeit für Farben in der Peripherie der N* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (3.) S. 177—208.

1878.

4983. E. LANDOLT u. A. CHARPENTIER. *Des sensations de lumière et de couleurs vision directe et dans la vision indirecte.* Compt. Rend. Bd. 86. S. 495—497. méd. de Paris. No. 10. S. 120.

1879.

4984. TREITEL. *Ueber den Werth der Gesichtsfeldmessung mit Pigmenten für fassung der Krankheiten des nervösen Schapparats.* Graefe's Arch. f. Op XXV. (2.)

1881.

4985. R. BUTZ. *Vorläufige Mittheilungen über Untersuchungen der physiologischen Fu der Peripherie der Netzhaut.* Arch. f. (Anat. u.) Physiol. S. 437—445.

4986. J. MACÉ DE LÉPINAY und W. NICATI. *Contribution à l'étude du cham des couleurs.* Arch. d'ophthalm. I. No. 6 u. 7. S. 437 u. 506.

1883.

4987. R. BUTZ. *Untersuchungen über die physiologischen Funktionen der Periph Netzhaut.* Dissert. Dorpat.

1884.

4988. W. DOBROWOLSKY. *Ueber den Unterschied in der Farbenempfindung bei Re Netzhaut an einer und an mehreren Stellen zu gleicher Zeit.* Pflüger's Arch. f. Physiol. XXXV. S. 537—541. St. Peterburger med. Wochenschr. S. 398.

1885.

4989. A. CHARPENTIER. *La perception lumineuse est-elle la même sur toute l'étend rétine?* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. II. S. 333.

1886.

4990. ALBINI. *Della visione indiretta delle forme e dei colori.* Giorn. della R. di Med. No. 7—8.

1887.

4991. ALBINI. *Sulla visione indiretta delle forme e dei colori.* Ann. di Ottalm. XV.

1888.

4992. A. E. FICK. *Studien über Licht- und Farbenempfindung.* Pflüger's Arch. f. Physiol. XLIII. S. 441.

1889.

4993. V. BASEVI. *Sulla sensibilità della periferia della retina per la luce e per i occhi normali ed in alcuni casi patologici.* Ann. d'Ottalm. XVIII. S. 41. — Augenheilkde. XXI. (1.) S. 119.

4994. E. HERING. *Ueber die Hypothesen zur Erklärung der peripheren Farben* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (4.) S. 63—83.

4995. C. HESS. *Ueber den Farbensinn bei indirectem Sehen.* Graefe's Arch. f. Op XXXV. (4.) S. 1—62. — Ber. über d. XX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heid S. 24

1890.

4996. A. FICK. *Zur Theorie des Farbensinnes bei indirectem Sehen.* Pflüger's Ar ges. Physiol. XLVII. S. 274—285.

4997. E. HERING. *Berichtigung zur Abhandlung über periphere Farbenblindheit.* G Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (1.) S. 264.

98. E. Hering. *Prüfung der sogenannten Farbendreiecke mit Hülfe des Farbensinnes excentrischer Netzhautstellen.* Pflüger's Arch. XLVII. S. 417—438.

1892.

99 E. Hegg. *Zur Farbenperimetrie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVIII. S. 145 bis 168. Diss. Bern.

1893.

00. O. Bull. *Sur la périmétrie au moyen de pigments colorés.* Ann. d'Ocul. CX. S. 169.

01. E. Hegg. *La périmétrie des couleurs.* Ann. d'Ocul. CIX. S. 321.

02. A. Kirschmann. *Die Farbenempfindung im indirecten Sehen.* Erste Mittheilung. Philos. Stud. VIII. S. 592—614.

1894.

03. Ole Bull *Sur la périmétrie au moyen des pigments colorés.* Ann. d'Ocul. CXI. S. 284.

04. A. Drott. *Die Aufsengrenzen des Gesichtsfeldes für weifse und farbige Objecte bei normalem Auge.* Diss. Breslau. 32 S.

05 E. Hegg. *Sur la périmétrie au moyen de pigments colorés.* Ann. d'Ocul. CXI. S. 122.

## e) Methoden, Apparate, Farbenproben u. s. w. zur Untersuchung des Farbensinnes.

**Betreffs der Untersuchung mit dem Farbenkreisel ist auch die Litteratur in § 22 zu beachten.**

1865.

06. E. Rose. *Ueber die einfachsten Untersuchungsmethoden Farbenkranker.* Berl. klin. Wochenschr No. 31

1870.

07. E. Ketteler. *Analytisch-synthetischer Mischfarbenapparat.* Pogg. Ann. Bd. 141. S. 604--607.

1874.

08. Fr. Holmgren. *Methoden zum schnellen Diagnosticieren der verschiedenen Arten von Farbenblindheit.* Upsala Läkaref. Förh. IX. S. 577—578.

09 Jeaffreson. *Photoperimeter.* Ann. d'Ocul. LXXII. 11. Ser. (2.) S. 115.

10. H. Snellen u. E. Landolt. *Die Functionsprüfungen des Auges.* Gräfe-Sämisch' Handb. d. ges Augenhlkde. Bd. III. Cap. I.

1876.

11. W. v. Bezold. *Der Farbenmischer.* Catalogue of the Spec. Loan Coll. of Scient. Apparatus London. I. S. 139. No. 972.

1877.

12. Rosenstiehl. *De l'emploi des disques rotatifs pour l'étude de sensations colorées.* Compt. Rend. Bd. 84. S. 1133—1136

1878.

13. H. Cohn. *Gestickte Buchstaben zur Diagnose der Farbenblindheit.* Centralbl. f prakt. Augenheilkde. II S. 77—78.

14. — *Ueber die spectroskopische Untersuchung Farbenblinder.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 264—266 u. 288.

15. — *Der Simultan-Contrast zur Diagnose der Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 35—36.

16 A. Daae. *Lidt om Undersögelse af Farvesandsen. (Anleitung zur Untersuchung Farbenblinder.)* Norsk. Mag. f. Lägevid. 3 R VII. S. 450 –455 VIII. S. 81.

17. — *Farbenblindheit und Entdeckung von Farbenblinden.* Centralbl. f. prakt Augenheilkde. II. S. 10—11.

18. — *Die Farbenblindheit und deren Erkennung.* Uebers. v. M. Sänger. Berlin, Dörffel & Hirschwald.

19. H. Dor. *Echelle pour mesurer l'acuité de la vision chromatique* Paris, Masson. 16 S. Basel-Lyon, Georg. — Ber. üb. d. Vers d Heidelb ophthalm. Ges S. 188.

20. J. Hirrlinger *Prüfungs- und Uebungstafeln zur Untersuchung des Farbensinnes.* Stuttgart, Moser

21. J. Hirschberg *Das Doppelspectroscop zur Analyse der Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II S. 248.

5022. F. HOLMGREN. *An die Ärzte Schwedens betreffs der Farbenblindheit.* Upsala Läka Förh. XIV. S. 60—72.
5023. E. LANDOLT. *Chromatomètre.* Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzte. No. 22.
5024. H. MAGNUS. *Zur spectroscopischen Untersuchung Farbenblinder.* Centralbl. f. pr. Augenheilkde. II. S. 80—81, 233—235 u. 287.
5025. E. PFLÜGER. *Ueber Prüfung des Farbensinnes.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S.
5026. J. STILLING. *Tafeln zur Bestimmung der Roth-Grünblindheit.* Leipzig.
5027. — *Tafeln zur Bestimmung der Blau-Gelbblindheit.* Cassel, Fischer.

1879.

5028. ANESHÄUSEL. *Zur Erkennung der Farbenblindheit.* Aerztl. Mitth. aus Ba XXXIII. (11.)
5029. E. BRABOCK. *Échelle de couleurs publié par la Soc. sténochromique de P* Anthrop. Inst. London. IX. S. 19—22.
5030. A. DAAE. *Pseudo-isochromatische Proben zur Untersuchung des Farbensinnes.* No Mag. 3 R. IX. 10 Forh.
5031. F. C. DONDERS. *Ueber pseudo-isochromatische Muster zur Prüfung der Farbenblind* Ber. d. XII. Vers. d. ophthalm. Ges. — Klin. Monatsbl. f. Augenhlkde. XVII. S.
5032. J. HIRSCHBERG. *Ueber eine Modification des Spectroscops zur Prüfung der Far blinden.* Physiol. Ges. zu Berlin. 17. Jan. — Dtsch. med. Wochenschr. No. Arch. f. Augenheilkde. IX. S. 116.
5033. — *Das Doppelspectroscop zur Analyse der Farbenblindheit.* Centralbl. f. Au heilkde. III. 55—56.
5034. F. HOLMGREN. *Apparat för diagnos af färgblindhetens arter.* Upsala Läk Förh. XIV. S. 91
5035. — *Meddelande om spektroskopiska undersökningar af färgsinnet.* Upsala Läka Förh. XIV. S. 307.
5036. MOELLER. *Etude critique des méthodes d'explorations pour les recherches des dalton dans le personel des chemins de fer.* Bull. de l'Acad. de Belg. XIII. (2.) S. 283—
5037. NIKITIN. *Zur Frage der quantitativen Bestimmung des Farbensinnes.* Inaug. D Petersburg.
5038. PFLÜGER. *Methoden zur Untersuchung der Farbenblindheit.* Corresp.-Bl. f. Schw Aerzte. IX.
5039. J. STILLING. *Tafeln zur Bestimmung der herabgesetzten Farbenempfindlichkeit Roth-Grün, sowie zur Entdeckung der Simulation der Farbenblindheit.* Leipzig.

1880.

5040. GALEZOWSKI. *Mesure de la puissance chromatique de l'oeil; Chromatoscope.* G méd. de Paris. No. 26. S. 340. Gaz. hebd. No. 26. S. 420.
5041. — *Échelles portatives des caractères et des couleurs pour mesurer l'acuité visu* Paris, Bailliere et fis.
5042. M. GROSSMANN. *Ueber die Messung der Schärfe des Farbensinnes.* Greifswald. I 39 S. — Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IV. S. 298.
5043. J. F. HEAD. *Tests for color-blindness.* Med. Record. S. 496. May 1.
5044. MARÉCHAL. *Appareil pour la détermination de l'acuité visuelle et de la vision couleurs.* Compt. Rend. du 6. congr. périod. intern. d'ophthalm. à Milan. 18 S. 244.
5045. J. JEFFRIES. *Colour-blindness, its Examination and Providence.* Lancet. II. (1.) S. 7—
5046. PFLÜGER. *Chromatoptometer.* Ann. di Ottalm. IX. S. 397.
5047. — *Tafeln zur Bestimmung der Farbenblindheit.* Bern, Dalp.
5048. W. THOMSON. *An instrument for the detection of color-blindness.* Transact. of Americ. Ophthalm. Soc.
5049. WOOD. *Ophthalmic Test-Types and Color-Blindness-Tests.* New-York, Wood u. C

1881.

5050. BADAL. *Echiquier pour l'examen de la vision des couleurs.* Le Sud-Ouest m Januar.
5051. O. BULL. *A new method of examining and numerically expressing the colour percep* Transact. of the internat. med. Congr. London. III. S. 49.
5052. — *Nouvelle méthode pour l'examen et l'expression numérique du sens chromati* Intern. med. Soc. — Ann. d'Ocul. July u. Aug. S. 71.
5053. H. COHN. *Neue Prüfung des Farbensinnes mit pseudo-isochromatischen Ta* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 372—378.

5054. H. Cohn. *Ueber die schnellste, einfachste und zuverlässigste Methode zur Entdeckung der Farbenblindheit.* Berl. klin. Wochenschr. No. 19. Bresl. ärztl. Zeitschr. III. S. 200.

5055. F. C. Donders. *Over spectroscopen en spectroscopisch onderzoek, tot bepaling van den kleurzin.* K. Acad. van Wetensch. 26. Febr. 3 S.

5056. - *Ueber Spectroscope und spectroscopische Untersuchungen zur Bestimmung des Farbensinnes.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. Mai.

5057. P. Glan. *Ophthalmospectroskop.* Ber. üb. d. wiss. Instr. a. d. Berl. Ausstellung im Jahre 1879. S. 304.

5058. — *Ueber Apparate zur Untersuchung der Farbenempfindungen.* Pflüger's Arch. Bd. 24. S. 307—328.

5059. G. de Grandmont. *Sur un procédé expérimental pour la détermination de la sensibilité de la rétine aux impressions lumineuses colorées.* Compt. Rend. Bd. 92. S. 1189.

5060. F. Holmgren. *Underrättelse angående ensidig färgblindhet.* Upsala Läkaref. Förh. XVI. S. 308.

5061. Keersmaecker. *Diagnostic du daltonisme par la méthode dite des laines colorées.* Rev. d'ocul. du sud-ouest. 5. S. 97.

5062. B. Kolbe. *Farben-Sattigungstafeln zur graduellen Abschatzung der Farbenblindheit.* Mit dtsch.-russ.-franz. Text. Petersburg, Kranz. Leipzig, Steinacker.

5063. — *Ueber die zweckmäßigsten Methoden zur Massenprüfung des Farbensinnes.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 368—372.

5064. — *Beschreibung eines Farbenmessers zur numerischen Bestimmung von Pigmentfarben und zur graduellen Abschatzung der Farbenblindheit.* St. Petersb. med. Wochenschr. No. 18. S. 154.

5065. J. Maréchal. *Un appareil pour l'appréciation de l'acuité chromatique dans un examen sommaire du personnel de la marine et des chemins de fer.* Transact. internat. med. Congr. 7. sess. London. III S. 126.

5066. L. Mauthner. *Ueber farbige Schatten, Farbenproben und erworbene Erythrochloropie.* Wien. med. Wochenschr. No. 38/39.

5067. Ch. A. Oliver. *Description of a color-sense measure.* Arch. of Ophthalm. X. No. 4.

5068. E. Pflüger. *Zur Diagnose der Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 206.

5069. Schenkl. *Die Behelfe zur Diagnose der Roth-Grünblindheit.* Prag. med. Wochenschr. No. 19, 27 u. 48.

5070. A. Rosenstiehl. *Détermination des sensations colorées fondamentales par l'étude de la répartition des couleurs complémentaires dans le cercle chromatique.* Compt. Rend. Bd. 92. S. 357—360.

5071. R. Rothe. *Farbenkreisel nebst Musterkarte der farbigen Papierscheiben zu Gleichungen.* Prag. — Ann. d'Oculist. Bd. 85. S. 181.

1882.

5072. O. Bull. *Chromatoptometrische Tabelle.* Christiania, Aschehoug.

5073. A. Geissler. *Die Farbenblindheit, ihre Prüfungsmethoden und ihre practische Bedeutung.* Leipzig.

5074. A. Handl. *Ein optisches Experiment.* Carl's Repert. XVIII. S. 307.

5075. H. Helmholtz. *Bemerkungen zum Leukoskop.* Verb. d. Berl. physik. Ges. No. 2. S. 5—6.

5076. A. König. *Ueber das Leukoskop.* Verh. d. Berl. physik. Ges. No. 2. S. 1—5.

5077. J. Maréchal. *Appareil pour explorer la vision des couleurs.* Brest.

5078. C. A. Oliver. *Beschreibung eines Farbensinnmessers.* Arch f. Augenheilkde. XII. S. 91.

5079. E. Pflüger. *Methode zur Prüfung des Farbensinnes mit Hülfe des Flor-Contrastes.* 2. Aufl. Bern, Dalp.

5080. Rosenstiehl. *De l'emploi des disques tournantes pour l'étude des sensations colorées.* Compt. Rend. No. 21.

5081. J. Stilling. *Pseudo-isochromatische Tafeln für die Prüfung des Farbensinnes.* Cassel, Fischer.

1883.

5082. X. Galezowski. *Échelles optométriques et chromatiques pour mesurer l'acuité de la vision, les limites du champ visuel et la faculté chromatique.* Paris.

5083. F. Holmgren. *Ueber die beste Art, die einseitige Farbenblindheit zu entdecken.* Upsala Läkaref. Förh. XVIII. S. 533—539.

5084. A. König. *Das Leukoskop und einige mit demselben gemachten Beobachtungen.* Wiedemann's Ann. XVII. S. 990—1008. — Zeitschr. f. Instrumentenkde. III. S. 20—26.
5085. B. Kolbe. *Beitrag zur qualitativen und quantitativen Prüfung des Farbensinnes vermittelst der Pigmentfarben.* Arch. f. Augenhlkde. XIII. S. 53. — Petersb. med. Wochenschr. VIII. S. 66.
5086. Pflüger. *Neue Methode zur quantitativen Bestimmung des Licht- und Farbensinnes.* Ber. d. ophthalm. Ges. Heidelberg. S. 189.
5087. J. Pithiot. *Apparat zur Auffindung und Bestimmung von Farbennuancen, welche sich aus der Zusammensetzung einfacher Farben ergeben.* Zeitschr. f. Instrumentenkde. IV. S. 73.
5088. Ribirio dos Santons. *Chromatoscope.* Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 190.
5089. Szili. *Pflüger's Untersuchungsmethode zur Erkennung der Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 234. — Szemeszet. No. 5.

1884.

5090. A. Charpentier. *Nouveau modèle d'instrument destiné à l'examen clinique de la sensibilité lumineuse et de la perception des couleurs.* Arch. d'Ophthalm. S. 210.
5091. R. Hilbert. *Eine neue Methode, Farben zu mischen.* Humboldt. III. Heft 7.
5092. — *Ein neues und bequemes Mittel zur Diagnose der Farbenblindheit.* Arch. f. Augenheilkde. XIII. (4.) S. 383.
5093. H. H. Hoffert. *A new Apparatus for Colour-Combinations.* Philos. Mag (5.) XVIII. S. 81—85.
5094. A. König. *Ueber einen neuen Apparat zur Diagnose der Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. VIII. Dezember. — Verhandl. d. physik. Ges. z. Berlin. 24. Okt.
5095. M. E. Miéville. *Nouvelle méthode de détermination quantitative du sens lumineux et chromatique.* Arch. d'Ophthalm. IV. S. 113 u. 423.
5096. H. Parinaud. *Nouveau modèle de photoptomètre, d'astigmomètre et d'ophthalmoscope à refraction.* Bull. de la soc. franç. d'ophthalm. S. 191.
5097. H. Parinaud u. J. Duboscq. *Appareil destiné à l'étude des intensités lumineuses et chromatiques des couleurs spectrales et de leurs mélanges.* Journ. de Phys. (2.) IV. S. 271—273.

1885.

5098. J. Aitken. *Chromomictors.* Proc. Edinb. XIII. S. 122—130.
5099. A. Charpentier. *Méthode pour l'étude de la perception des diminutions de clarté et nouvel appareil pour la photoptométrie et le mélange des couleurs.* Arch. d'Ophthalm. S. 734.
5100. Chibret. *Chromatoscope.* Arch. d'Ophthalm. V. S. 1881.
5101. Colardeau, Izarn et Chibret. *De l'application de la polarisation chromatique à la détermination rapide et quantitative de l'acuité chromatique dans la région de la macula.* Bull. et mém. soc. franç. d'ophthalm. III. S. 316.
5102. D. Kitao. *Leukoskop, seine Anwendung und seine Theorie.* Abh. d. Tokio Daigaku. No. 12. 102 S. Tokio.
5103. Ch. Oliver. *A description of some modifications in a color-sense measure.* Transact. of the americ. ophthalm. soc. XXI. Vers. S. 110.
5104. H. Parinaud. *Appareil pour l'étude des couleurs spectrals.* Bull. et mém. soc. franç. d'ophthalm. III. S. 327.
5105. — *Photoptomètre.* Arch. d'Ophthalm. V. S. 182.
5106. L. Wolffberg. *Ueber den differential-diagnostischen Werth der Farbensinnprüfungen.* Ber. d. ophthalm. Ges. z. Heidelberg.
5107. Zenger. *Sur un optomètre spectroscope.* Compt. Rend. Bd. 101. S. 1003.

1886.

5108. A. Charpentier. *Méthode polarimétrique pour la photoptométrie et le mélange des couleurs.* Arch. d'Ophthalm. S. 40.
5109. Chibret. *Présentation du chromatoptomètre des M. M. Colardeau, Izarn et Chibret.* Bull. et mém. de la soc. franç. d'ophtalm. IV. S. 336. — Rec. d'Ophthalm. S. 436.
5110. C. S. Jeaffreson. *A colour circle for testing the chromatic sense.* Lancet. II. S. 115.
5111. Oliver. *A new series of Berlin wools for the scientific detection of subnormal colour perception.* Transact. of the americ. ophthalm. Soc. XXII. S. 250. — Ophthalm. Rev. S. 262.

5112. A. v. Reuss. *Wolltäfelchen zur Untersuchung auf Farbenblindheit.* Wien. med. Pr. No. 3.
5113. K. Röhrich. *Messung der Schärfe des Farbensinnes an den Tafeln von Ole Bull.* Greifswald. 23 S.
5114. H. Sewall. *A simple method of testing for color-blindness.* Med. News. Philad. S. 625.
5115. L. Wolffberg. *Eine einfache Methode, die quantitative Farbensinnprüfung diagnostisch zu verwerthen.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 359.

1887.

5116. Boehm. *Die Diagnose des Astigmatismus durch die quantitative Farbensinnprüfung.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 429.
5117. Chibret. *Contribution à l'étude du sens chromatique au moyen du chromatophotomètre.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 40.
5118. B. Herzog. *Ueber den practischen Nutzen des Wolffberg'schen Apparates zur diagnostischen Verwerthung der quantitativen Farbensinnprüfung.* Diss. Königsberg i. Pr.
5119. Oliver. *New series of Berlin wools for the scientific detection of subnormal colour-perception.* Philad. 4 S.
5120. A. W. Stokes. *An apparatus for comparison of colour-tints.* Chem. Soc. 15. Dezbr. — Chem. News. LVI. S. 275.
5121. L. de Wecker und J. Masselon. *Échelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle, le sens chromatique et le sens lumineux.* Paris, Doin. 64 S.

1888.

5122. J. Aitken. *The new chromomictor.* Scientif. News. I. No. 2. S. 27—28 u. No. 3. S. 57—58.
5123. K. Grossmann. *Colour-blindness, with demonstrations of new tests.* Brit. med. Journ. II.
5124. E. Hering. *Eine Vorrichtung zur Farbenmischung zur Diagnose der Farbenblindheit und zur Untersuchung der Contrasterscheinungen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 42. S. 119.
5125. Oliver. *Description of a series of tests for detection and determination of subnormal color-perception designed for use in railway service.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 86.
5126. H. Parinaud. *Échelle optométrique, acuité visuelle, perception de la lumière et des couleurs.* Paris, Roulot.
5127. H. A. Stephenson. *Wolffberg's colour test.* Brit. med. Journ. II. S. 111.

1889.

5128. Bickerton. *Criticisms of the tests for colour-blindness by the board of trade.* Ophthalm. Rev. S. 297.
5129. St. C. Buxton. *Colour-tests for railway servants.* Lancet. S. 1252.
5130. Fraenkel. *Farbige Brillen für Farbenblinde.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXVII. (2). S. 57.
5131. K. Grossmann. *Notes on tests for colour-blindness.* Ophthalm. Rev. S. 298.
5132. — *Zur Prüfung auf Farbenblindheit.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. Jan. S. 13.
5133. J. F. Heyes. *The testing of colour-blindness.* Nature. XL. S. 572.
5134. J. Stilling. *Pseudo-isochromatische Tafeln für die Prüfung des Farbensinnes.* Leipzig, Thieme.
5135. W. Uhthoff. *Die practischen Untersuchungsmethoden auf Farbenblindheit.* Münch. med. Wochenschr. S. 657.
5136. L. Wolffberg. *[illegible]tafeln zur Prüfung der Sehschärfe, zur Controlle der Beleuchtungsintensität und zu diagnostischen Zwecken.* Eine vorläufige Mittheilung. Breslau, Preufs & Jünger. 7 S.

1890.

5137. E. Bickart. *Ueber Wolffberg's quantitative Farbensinnprüfung zur Diagnose von Refractionsanomalien.* Diss. Strafsburg.
5138. L. Clark. *Testing for Colour-Blindness. Letter to the Editor.* Nature. 12. Juni. S. 147.
5139. F. W. Edridge-Green. *Two new tests for colour-blindness.* Brit. med. Journ. 11. Jan.
5140. — *The detection of colour-blindness.* Brit. med. Journ. 9. Novbr.
5141. E. Faravelli. *Premières lignes d'ophthalmospectroscopie.* Arch. Ital. de Biol. XIV, S. 151—154.
5142. K. Grossmann. *Notes on tests for colour-blindness.* Brit. med. Journ. 11. Jan.

5143. E. Hering. *Zur Diagnostik der Farbenblindheit.* Graefe's Arch. f. Ophtha XXXVI. (1.) S. 217—233.
5144. O. J. Lodge. *Testing for colour-blindness.* Nature. XIII. S. 100.
5145. J. Stilling. *Pseudo-isochromatische Tafeln für die Prüfung des Farbensin* 3. Aufl. 9 Taf. Leipzig.

**1891.**

5146. H. Adler. *Die Farbenstiftprobe. Eine neue Methobe zur Untersuchung auf Far blindheit.* Wien. klin. Wochenschr. No. 21. S. 387.
5147. F. W. Edridge-Green. *A review of the tests for colour-blindness.* Brit. med. Jo No. 1600. S. 470.
5148. L. Wolffberg. *Apparat zur diagnostischen Verwerthung der quantitativen Far sinnprüfung.* 3. Aufl. 55 S. Breslau, Preuſs & Jünger.
5149. — *Zur dritten Auflage des diagnotischen Farbenapparates. Erläuterungen für practischen Arzt und Militärarzt.* Breslau, Preuſs & Jünger.

**1892.**

5150. K. Grossmann. *Zur Prüfung auf Farbenblindheit.* Verh. d. X. internat. Congr. IV. S.

**1893.**

5151. St. Clair Buxton. *On a combination test for colour vision.* Lancet. 13. Juli.
5152. Cousins. *Nouveau cadran pour l'épreuve de la vision des couleurs.* Réun. annu de la Brit. med. Assoc. August.
5153. C. A. Oliver. *A series of wools for the ready detection of colour-blindness.* Trans of the Americ. ophthalm. soc. held at New London. Juli. S. 538.
5154. F. Schmidt u. Haensch. *Neuer Helmholtz'scher Farbenmischapparat.* Zeitsc f. Instrumentenkde. XIII. S. 200.
5155. L. Wolffberg. *Ueber die Functionsprüfungen des Auges.* Arch. f. Augenheilk XXVI. S. 158—168.

**1894.**

5156. W. Thompson. *A new wool-test for the detection of color-blindness.* The med. ne Philadelphia. Aug.
5157. L. Wolffberg. *Diagnostischer Farbenapparat.* 4. Aufl. Breslau, Preuſs & Jünge 40 S. m. 2 Sehpr.

## f) Zur Casuistik der Farbenblindheit.

**1843.**

5158. Boys de Loury. *Observation sur un cas d'aberration dans la sensation des couleurs* Rev. méd. Franç. Paris. III. S. 335—344.

**1858.**

5159. Bronner. *Cases of color-blindness.* Med. Times a. Gaz. London. XII. S. 359—361

**1864.**

5160. H. W. Dove. *Eine Beobachtung über mangelnden Farbensinn.* Berl. Monatsber. S. 667.

**1867.**

5161. J. Dastich. *Ueber einen Fall von Rothblindheit.* K. böhm. Ges. d. Wiss. (Philos Sect.) 1. Juli.

**1871.**

5162. F. C. Donders. *Fall von vollständiger Achromatopsie.* Klin. Monatsbl. f. Augen-heilkde. S. 470.
5163. M. Woinow. *Zur Diagnose der Farbenblindheit.* Arch. f. Ophthalm. XVII. 2 S. 241.

**1874.**

5164. Liegey. *Cas de altonisme congénital.* Journ. de Méd. de Bruxelles. S. 327.

**1875.**

5165. Fr. Holmgren. *Ein Fall von Farbenblindheit.* Upsala Läkaref. Förh. X. S. 541 bis 545.
5166. A. Riccò. *Studio di un caso di daltonismo.* Ann. di Ottalm. V. S. 59—94

**1876.**

5167. A. Riccò. *Studio di un caso di daltonismo.* Cimento. XV. S. 175. Rendic. Acc. Linc. 2. Jan.

1877.

8. BULL. *Tilfälde af erhvervet Farveblindhet. (Ein Fall von Farbenblindheit.)* Norsk. Mag. f. Lägevid. 3 R. VII Förh. S. 125.
9. W. CAMERER. *Versuche eines Farbenblinden am Spectralapparat.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XV. S. 52—60.

1878.

0. F. C. DONDERS. *Over dichromatische stelsels.* Kon. Akad. v. Wetensch. Afd. Natuurk. 28. Decbr.
1. J. HIRSCHBERG. *Ein Fall von angeborener sog. Farbenblindheit.* Arch. f. (Anat. u.) Physiol. II. S. 332. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 156.
2. PARSEVI. *Storia de un caso singolare di cromatopseudopsia.* Giorn. d. R. Acad. di Med. Torino. 3.
3. J. STILLING. *Blau-Gelbblindheit mit unverkürztem Spectrum.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 99—100.

1879.

4. O. BECKER. *Ein Fall von angeborener einseitiger totaler Farbenblindheit.* Arch. f. Ophthalm. XXV. (2.) S. 205—212.
5. A. v. HIPPEL. *Ueber Farbenblindheit.* Berl. klin. Wochenschr. No. 30.
6. E. LANDOLT. *A manual of examination of the eyes,* translated by S. M. Burnett. Philadelphia. S. 190—191.
7. NUËL. *Des altérations acquises du sens chromatique.* Bull. de l'Acad. roy. de med. de Belgique. (3) XIII. 3. S. 372—391. Ann. d'Ocul. Bd. 82. S. 64.

1880.

8. A. v. HIPPEL. *Ein Fall von einseitiger congenitaler Roth-Grünblindheit bei normalem Farbensinn des anderen Auges.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (2.) S. 176.
9. H MAGNUS. *Ein Fall von angeborener totaler Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IV. S. 373.
0. NETTLESHIP. *On cases of congenital day-blindness with colour-blindness.* St. Thomas Hosp.-Rep. No. X.
1 E. PFLÜGER. *Beobachtungen an Farbenblinden* Arch. f. Augenheilkde. IX. S. 381.

1881.

2. A. v. HIPPEL. *Ueber einseitige Farbenblindheit.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (3.) S. 47.
3. FR. HOLMGREEN. *Flere Fall of ensidig Färgblindhet.* Upsala Läkaref Förh. XVI. S. 222—225.
4. E. LANDOLT. *Achromatopsie totale.* Arch. d'ophthalm. franç. No. 2. S. 114—120.
5. H. MAGNUS. *A case of congenital total color-blindness.* Boston med. and surg. Journ CIII. No. 4. S. 34
6. E. PFLÜGER. *Weitere Beobachtungen an Farbenblinden.* Arch. f. Augenheilkde. XI. S. 1.
7. S. SNELL. *Peculiar case of Colour-Blindness.* Lancet. April 30. S. 727.

1882.

8. G. HERMANN. *Ein Beitrag zur Casuistik der Farbenblindheit.* Diss. Dorpat.
9. B. KOLBE. *Ein Fall von angeborener einseitiger Rothgrünschwäche.* Centralbl f. prakt. Augenheilkde. VI. S. 291.
0. H. NOYES. *Two cases of hemi-achromatopsia.* Arch. f. Ophthalm. XI. 2. Juni.
1. TRÉCUL. *Exemple du noir vu en rouge orangé.* Compt. Rend. Bd. 95. S. 1198

1883.

2. FONTAN. *Un cas de daltonisme traumatique.* Rec. d'Ophthalm. S. 705.
3. J. L. MINOR. *A case of colour-blindness for green.* Americ. Journ. of med. Sc. Philad. N. S LXVXX. S. 471
4. S. W. SHUFELDT. *A case of daltonism affecting one eye.* Med. Rev. New York. XXIII. S. 319.
5. H. R. SWANZY. *Case of Hemiachromatopsia.* Trans. of the Ophthalm. Soc. Vol. III. Lancet. II. 3.

1884.

6. EPERON. *Hemiachromatopsie.* Arch. f. Augenheilkunde. XIII. S. 123. Arch. d'Ophtbalm S. 356.
7. NOYES. *Zwei Fälle von Hemiachromatopsie.* Arch. f. Augenheilkde XIII S. 123.

**1885.**

5198. BICKERTON. *Case of colour-blindness.* Liverpool. Med.-chir. Journ. V. S. 508.

5199. DOR. *Una observaçao de achromatopsia completa.* Arch. ophthalm. de Lisb. S. 97.

5200. — *Un cas de chromatotyphlose ou achromatopsie complète.* Rev. gén. d'Opht S. 433.

5201. B. L. MILLIKIN. *Case of sudden loss of color perception.* Columbus med. J. IV. S. 193.

**1886.**

5202. R. FERET. *Application du diagramme des couleurs à des expériences faites su daltonien.* Compt. Rend. CII. S. 608—610. — Rev. Scientif. No. 12. S. 376.

**1888.**

5203. VERREY. *Hemiachromatopsie droite absolue; conservation partielle de la perc lumineuse et des formes.* Arch. d'Ophthalm. VIII. S. 289.

5204. WILLIAMS. *Partial chromatopsy; green vision in spots.* St. Louis med. and Journ. Sept.

**1889.**

5205. F. W. EDRIDGE-GREEN. *Note on a case of asymmetrical colour-blindness.* Med London. S. 53.

**1890.**

5206. C. HESS. *Untersuchungen eines Falles von halbseitiger Farbensinnstörung am l Auge.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (3.) S. 24—36.

5207. J. HOGG. *An undetected case of colour-blindness.* Brit. Med. Journ. 19. April

5208. F. KREYSSIG. *Genuine totale Farbenblindheit.* Mitth. a. d. ophthalm. Klinil Tübingen. S. 332.

5209. RAYLEIGH. *On defective colour vision.* Rep. of the Brit. Assoc. for 1890. S. bis 729. 1891.

**1891.**

5210. E. HERING. *Untersuchung eines total Farbenblinden.* Pflüger's Arch. f. d. Physiol. Bd. 49. S. 563—609.

5211. E. LANDOLT. *Un nouveau cas d'achromatopsie totale.* Arch. d'ophth. XI. (3.) S. bis 207.

5212. QUERENGHI. *Due casi di Acromatopsia totale.* Ann. di Ottalm. Anno XX. S. Ann. d'ocul. CVI. S. 333.

5213. M. v. VINTSCHGAU. *Physiologische Analyse eines ungewöhnlichen Falles partie Farbenblindheit. (Trichromasie des Spectrums.)* Pflüger's Arch. f. d. ges. Phys XLVIII. S. 431—528.

**1892.**

5214. A. MC. GILLIVRAY. *A case of central colour defects, with remarks.* Brit. med. Jou 23. Juli.

5215. A. KIRSCHMANN. *Beiträge zur Kenntnifs der Farbenblindheit.* Wundt's Philos. St VIII. S. 173—230 u. 407—430.

5216. M. v. VINTSCHGAU. *Ueber Farbenblindheit.* Ber. d. naturw.-med. Vers. in In bruck. XX. 1891/92.

**1894.**

5217. BEEVOR. *Functional amblyopia and achromatopsia of the right eye in a man w loss of other special senses right hemiplegia, tremors and hemianaesthesia.* Tran Ophthalm. Soc. U. K. XIV. S. 249.

5218. E. HERING. *Ueber einen Fall von Gelb-Blaublindheit.* Pflüger's Arch. f d. ge Physiol. Bd. 57. S. 308—332.

5219. A. v. HIPPEL. *Ueber totale angeborene Farbenblindheit.* (Aus Festschr. zur 200jä Jubelfeier d. Univers. Halle.) Berlin. A. Hirschwald. 11 S. mit 1 Taf.

5220. A. KÖNIG. *Eine bisher noch nicht beobachtete Form angeborener Farbenblindhe (Pseudo-Monochromasie.)* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 161—171.

5221. R. SIMON. *Ueber typische Violettblindheit bei Retinitis albuminurica.* Centralbl. prakt. Augenheilkde. XVIII. S. 132—139.

5222. E. UHRY. *Beitrag zur Casuistik der Blau-Gelbblindheit.* Diss. Strafsburg. 3

5223. M. v. VINTSCHGAU. *Physiologische Analyse eines ungewöhnlichen Falles partie Farbenblindheit.* Zweite Mittheilung. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 5 S. 191—307.

### g) Xantopsie (Santoninwirkung), Erythropsie, Chloropie und Kyanopie.

**1842.**

4. V. Szokalski. *Ueber die Empfindungen der Farben in physiologischer und pathologischer Hinsicht.* Giefsen. S. 153.

**1852.**

5. Witcke. *Wirkung des Wurmsamens.* Med. Zeitschr. d. Ver. f. Heilk. in Preufsen. No. 7.

**1854.**

6. Knoblauch. *Beitrag zur Wirkung des Santonins auf das Sehorgan.* Deutsche Klinik. No. 35.

**1855.**

7. Zimmermann. *Gelb- und Grünsehen nach Santoningebrauche.* Deutsche Klinik. Nov. 14.

**1858.**

8. A. de Martini. *Effets produits sur la vision par la santonine.* Compt. Rend. XLVII. S. 259—260.

9. E. Rose. *De Santonico.* Diss. Berlin.

**1859.**

0. T. L. Phipson. *Action de la santonine sur la vue.* Compt. Rend. XLVIII. S. 593 bis 594.

1. Lefèvre. *Action de la santonine.* Compt. Rend. XLXIII. S. 448.

2. E. Rose. *Ueber die Wirkung der wesentlichen Bestandtheile der Wurmblüthen.* Virchow's Arch. XVI. S. 233—253.

**1860.**

3. Falck. *Mittheilungen uber die Wirkungen des Santonins.* Deutsche Klinik. No. 27 u. 28.

4. E. Rose. *Ueber die Farbenblindheit durch Genufs der Santonsäure.* Virchow's Arch. XIX. S. 522—536. XX. S. 245—290.

5. A. de Martini. *Sur la coloration de la vue et de l'urine produite par la santonine.* Compt. Rend. L. S. 544—545. Inst. S. 108 u. 109.

6. Guépin. *Note sur l'action de la santonine sur la vue et son action thérapeutique.* Compt. Rend. LI. S. 794—795.

**1861.**

7. Franceschi. *On the action of Santonine on vision and its causes.* Ref. in Ann. d'Ocul. S. 199.

**1863.**

8. E. Rose. *Ueber die Hallucinationen im Santonrausch.* Virchow's Arch. XXVIII.

**1864.**

9. E. Rose. *Die Gesichtstauschungen im Icterus (Nebst einem Anhang über den Farbensinn bei der Nachtblindheit und die Wirkung der Pikrinsaure auf das Auge.)* Virch. Arch. XXX. S. 442.

**1865.**

0. R. Schelske. *Rothblindheit in Folge pathologischer Processe.* Arch. f. Ophthalm. XI. (1.) S. 171.

**1867.**

1. G. Hüfner. *Versuch einer Erklarung der im Santonrausche beobachteten Erscheinung von partieller Farbenblindheit im Sinne der Young'schen Theorie.* Arch. f. Ophthalm. XIII. (2.) S. 309.

**1868.**

2. W. Preyer. *Ueber anomale Farbenempfindungen und die physiologischen Grundfarben.* Pflüger's Arch. I. S. 299—329.

3. F. Giovanni. *Effets de coloration de la santonine.* Journ. de chim. med. S. 373 bis 376.

**1871.**

4. Brachet und E. Gsell. *De l'application de verres à base d'uranium ou de sesquioxyde de fer aux besicles, pour combattre les affections de l'oeil et principalement l'aphakie.* Compt. Rend. Bd. 72. S. 544.

**1874.**

5245. H. Schliephake. *Beiträge zur Kenntniſs der Einwirkung des galvanischen auf das menschliche Auge (Wirkung der Santoninvergiftung auf den Ein galvanischen Stromes).* Pflüger's Arch. VIII. S. 565.

5246. W. Schön. *Farbenstörung durch Santonin.* Berl. klin. Wochenschr. No.

5247. Woinow. *Ueber die Wirkung des Santonins auf die Netzhaut.* (Russisch Rundsch. Moskau. 5. Heft.

**1877.**

5248. G. Brackmeyer. *Ueber die Einwirkung der Santonsäure auf den Fa* Würzburg.

5249. O. N. Rood. *Observations on a property of the retina, first noticed by Tai* Journ. Vol. XIII. S. 32.

**1878.**

5250. W. W. Seely. *The Yellow Vision in Santonin Poisoning.* The Cincinati Cl No. 6.

**1879.**

5251. Cuignet. *Vision rouge.* Rec. d'Ophthalm. September.

**1881.**

5252. L. Mauthner. *Ueber farbige Schatten, Farbenproben und erworbene Erythro* Wien. med. Wochenschr. No. 38 u. 39.

5253. O. Purtscher. *Ein Fall von Erythropsie nach Cataracta traumatica.* Cen prakt. Augenheilkde. V. S. 333.

**1882.**

5254. Kesteven. *Xantopsia.* Clin. Soc. of London. 27. Januar.

5255. G. Mayerhausen. *Zur Kenntniſs der Erythropsie.* Wien. med. Presse. Jahrg. No. 42.

5256. — *Ueber Rothscheu.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. VI. S. 348.

5257. Steiner. *Zur Kenntniſs der Erythropsie.* Wien. med. Pr. No. 44. S. 13

**1883.**

5258. Benson. *On Erythropsia.* Ophthalm. Rec. II. No. 26.

5259. F. Dimmer. *Zur Erythropsie Aphakischer.* Wien. med. Wochenschr. No.

5260. J. Hirschler. *Zum Rothsehen der Aphakischen.* Wien. med. Wochenschr 125 u. 149.

5261. Mari. *La Santonina e la visione dei colori.* Ann. d'Ottalm. XI. (6.)

5262. O. Purtscher. *Zur Frage der Erythropsie Aphakischer.* Centralbl. f. Augenheilkde. VII. Juni.

**1884.**

5263. R. Hilbert. *Ueber eine eigenthümliche Ermüdungserscheinung des nervös apparates und seine Beziehung zur Erythropsie.* Klin. Monatsbl. f. Augen S. 403. — Rec. d'Ophthalm. Nov. S. 653.

5264. — *Zur Kenntniſs der pathologischen Farbenempfindung.* Betz' Memo Jahrg. 1884. S. 526.

5265. Steinheim. *Zur Erythropsie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. VIII. S Rec. d'Ophthalm. S. 210.

**1885.**

5266. K. L. Baas. *Periodisches Blausehen als einzige Erscheinung eines larvirten Wech* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 240.

5267. Berger. *Ein Fall von Erythropsie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IX.

5268. Coggins. *A case of erythropsia.* Boston med. and surg. Journ. Bd. 113.

5269. van Duyse. *Deux cas d'Erythropsie.* Rev. gén. d'Ophthalm. No. 5. S. 19

5270. R. Hilbert. *Zur Kenntniſs der Xantopie.* Arch. f. Augenheilkde. XV. S.

5271. — *Ueber Xantopie durch Pikrinsäure.* Centralbl. f. prakt. Augenheilk S. 70.

5272. J. Hirschberg. *Ein Fall von Blausehen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilk S. 141.

5273. — *Ueber Gelbsehen und Nachtblindheit der Icterischen.* Berl. klin. Woc No. 23.

5274. Pflüger. *Erythropsie.* Bericht über die Augenklinik in Bern f. 1883. S.

5275. O. Purtscher. *Weitere Beiträge zur Frage der Erythropsie.* Centralbl. f Augenheilkde. IX. S. 48 u. 72.

C. SCHULIN. *Erythropsia.* Northwest. Lancet, St. Paul. 1884—85. IV. S. 317.
A. SZILI. *Ueber Erythropsie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IX. Februar.

**1886.**

A. CARRERAS. *La eritropsia en los operados de cataracta.* Rev. de sc. méd. S. 391.
GALEZOWSKI. *De l'érithropsie ou vision colorée des opérés de la cataracte.* Arch. slav. de biol. I. S. 426.
A. GEISSLER. *Beiträge zur Kenntnifs der Erythropsie (Rothsehen) und verwandter Erscheinungen.* Schmidt's Jahrb. Bd. 208. S. 86.
R. HILBERT. *Zur Kenntnifs der Erythropsie.* Kl. Monatsbl. f. Augenheilkde. S 483.
— *Contribution to the knowledge of xanthopsia.* Arch. Ophthalm. New-York. XIV. S. 196.
— *Beitrag zur Kenntnifs der transitorischen Farbenblindheit.* Arch. f. Augenheilkde. XVI. S. 417.
SZILI. *Einige Bemerkungen zur Erythropsiefrage.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 259.

**1887.**

W. DOBROWOLSKY. *Ueber die Ursachen der Erythropsie* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. (2.) S. 213.
TH. KUBLI. *Vier Fälle von Erythropsie* Russisch.) Westnik ophthalm. IV. (3.) S. 239.
O. PURTSCHER. *Neue Beiträge zur Frage der Erythropsie.* Arch. f. Augenheilkde. XVII. S. 260.

**1888.**

DUFOUR. *Sur la vue rouge ou l'érythropsie.* Ann. d'Ocul. Bd. 99. S. 135.
A. KONIG. *Ueber den Einflufs von santoninsaurem Natron auf ein normales trichromatisches Farbensystem.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XII. S. 353.
E. VALUDE. *L'érythropsie.* Arch. d'Ophthalm. VIII. S. 130.
WESTHOFF. *Erythropsie bei Aphakie.* Festbundel, Donders' Jubiléum. Amsterdam S. 256.

**1889.**

VETSCH. *Ueber das Rothsehen.* Correspondenzbl. f. Schweiz. Aerzte. XIX.

**1891.**

M. REICH. *Zur Lehre von der Erythropsie und Xanthokyanopsie.* Westnik Oftalm. — Petersb. med. Wochenschr.

**1892.**

W. M. BAUMONT. *Erythropsie dans l'aphakie.* Ophthalm. Rev. XI. S. 72—75.
R HILBERT. *Zur Kenntnifs der Kyanopie.* Arch. f. Augenheilkde. Bd. 24. S. 240—244.
VAN MILLINGEN. *Contribution à l'étude de l'erythropsie.* Ann d'ocul. S. 417.

**1893.**

E. BERGER. *Accès d'érythropsie chez un aveugle.* Rev. gén. d'ophthalm. No. 2. S 65.
E. FUCHS. *Ueber einen Fall von subjectiven Gehörs- und Gesichtsempfindungen.* Neurol. Centralbl. No. 22.
R. HILBERT. *Die Chloropie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XVII. Jahrg. S. 50—52
J. HIRSCHBERG. *Grünsehen auf einem Auge.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XVII. S. 110—111.

**1894.**

GUEBHARD. *Ueber Grunsehen.* Séanc. d. l. Soc. franç. de Phys. 1893. S. 129 Naturwiss. Rundsch. S. 168.
R. HILBERT. *Die durch Einwirkung gewisser toxischer Körper hervorgerufenen subjectiven Farbenempfindungen.* Arch. f. Augenheilkde. XXIX. S 28—32.
— *Erythropie, zehn Minuten andauernd, in Folge starker Erregung des Nervensystems.* Betz's Memorabilien. 3. H.
SOMYA. *Zwei Fälle von Grunsehen.* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 305—307.

## h) Praktische Bedeutung und Verbreitung der Farbenblindheit.

**1858.**

G. WILSON. *A note on the statistics of colour-blindness.* Year book of facts. S. 138—139

**1878.**

A. FAVRE. *Du daltonisme au point de vue de l'industrie des chemins de fer.* Lyon méd. No. 19. S. 6—20.

5307. A. FAVRE. *Réforme des employés de chemin de fer affectés de daltonisme.* l'Assoc. franç. pour l'avancement des sc. Lyon.

**1874.**

5308. BLASCHKO. *Daltonismus der Eisenbahnbeamten.* Vierteljahrsschr. f. ge S. 74.

5309. COHEN. *Daltonismus der Eisenbahnbeamten.* Neederl. Weekbl. S. 313.

5310. A. FAVRE. *Daltonismus der Eisenbahnbeamten.* Lyon méd. No. 22.

**1876.**

5311. A. FAVRE. *De la dyschromatopsie dans les rapports avec l'état militaire gation.* Lyon.

5312. FERIS. *Daltonisme dans ses rapports avec la navigation.* Paris. — C médecins scandinaves réunis à Gothenburg. July 14.

**1877.**

5313. F. C. DONDERS. *Rapport van het Gerichtsvermogen van het personeel. wegen.* Utrecht. Rep. v. h. Nederl. Gasth. v. Ooglijders 1878.

5314. A. FAVRE. *Du Daltonisme dans ses rapports avec la navigation.* Lyon.

5315. MICHEL. *Die Prüfung der Sehkraft und der Farbenblindheit beim Eisenba* Aerztl. Intelligenzbl. No. 47.

5316. J. STILLING. *Die Prüfung des Farbensinnes beim Eisenbahn- und Mari* Cassel, Fischer. 7 S. 3 Taf.

**1878.**

5317. H. COHN. *Beobachtungen an 100 Farbenblinden.* Ber. üb. d. Sitzg. d Ophthalm. Ges. S. 110—120. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. Beil. z

5318. H. COHN u. H. MAGNUS. *Untersuchung von 5000 Schulkindern auf Farb* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 97—99.

5319. A. DAAE. *Ein Beitrag zur Statistik der Farbenblindheit.* Centralbl Augenkeilkde. II. S. 79 u. 263.

5320. DHERBES. *Moyen d'éviter les accidents dus au daltonisme, dans la per signaux colorés.* Compt. Rend. Bd. 87. S. 502.

5321. J. JEFFRIES. *Relative frequency of colour-blindness in males and females.* surg. Journ. Boston. Juli.

5322. — *Dangers from color-blindness in railroad employés and pilots.* 9th. Mass. State Board Health.

5323. FR. HOLMGREN. *De la cécité des couleurs dans ses rapports avec les che et la marine.* Paris. G. Masson.

5324. — *Die Farbenblindheit in ihren Beziehungen zu den Eisenbahnen und d* Leipzig. F. C. W. Vogel.

5325. — *Ueber die Farbenblindheit in Schweden.* Upsala Läkaref. Förh. XIII. S. Französ. i. Anhang zu XIV. Heft 1. S. VIII—XV.

5326. — *Ueber die Farbenblindheit in Schweden.* Centralbl. f. prakt. Augenheil

5327. A. LEDERER. *Farbenblindheit und mangelhafter Farbensinn mit Rücksic Signaldienst in der Marine.* Wien. med. Wochenschr. XXVIII. No. 2

5328. H. MAGNUS. *Ueber die Höhe des Procentsatzes der Farbenblindheit und dingenden Factoren.* Bresl. Ztg. No. 537.

**1879.**

5329. SWAN M. BURNETT. *Resultat der Untersuchung des Farbensinnes von 304 in den Schulen der Farbigen im District Columbia.* Arch. f. Augenhe S. 146. 1880. Nat. med. Rev. (Washington.) I. S. 191—198.

5330. A. CARL. *Ein Beitrag zur Statistik der Farbenblindheit.* Centralbl. f. pra heilkde. III. S. 360—362.

5331. H. DE COCK. *Kleuronderscheidingsvermogen bij de Kon. Ned. Zeemach Indie.* Nederl. Mil. Geneesk. Arch. III. S. 386—403.

5332. O. E. DE FONTENAY. *Ueber die Farbenblindheit in Dänemark.* Centralbl Augenheilkde. III. S. 135—136.

5333. F. HOLMGREN. *Beiträge zur Statistik der Farbenblindheit.* Upsala Läka XIV. S. 204—248, 411—500.

5334. HOSCH. *Zur Statistik der angeborenen Farbenblindheit.* Correspondenzbl. f Aerzte. IX. No. 8. S. 225—235.

5335. JEFFRIES. *Color-blindness among school-children.* Boston evening transcript

). JUST. *Beiträge zur Statistik der Myopie und des Farbensinnes.* Arch. f. Augenheilkde. VIII. (2.) S. 191—201.
KEYSER. *Report on the examination of railroad employees for colour-blindness.* Med. Report. No. 448. New-York. 7. Juni.
I. MAGNUS. *Untersuchungen von 5489 Breslauer Schülern und Schülerinnen auf Farbenblindheit.* Bresl. arztl. Zeitschr. No. 2.
MEYHOFER. *Untersuchung von Schülerinnen auf Farbenblindheit.* Schles. Ztg. No. 187.
MOELLER. *Rapport sur la réforme des employées de chemin de fer affectées de Daltonisme en Suède, Norvège et Danemark.* Bull. de l'Acad. de Belg. XIII. (2.) S. 330—361.
— *Étude critique des méthodes d'exploration pour les recherches des daltoniens dans le personel des chemins de fer.* Bull. d'Acad. Roy. de Belg. XII (2.) S. 288—330 u. 330 - 361.
A. v. REUSS. *Die Farbenblindheit in ihren Beziehungen zu den Eisenbahnen.* Neue Freie Presse. 4. Septbr.
TALKO. *Ueber das Untersuchen der Farbenblinden an den Eisenbahnen.* Medycyna. Sowrennaja Medicina. No. 11 u. 12.

1880.

I. W. AUSTIN. *The color-blind and colored signals.* New Orleans Med. a. surg. Journ. Oct.
O. E. DE FONTENAY *Ueber das Vorkommen der angeborenen Farbenblindheit in Dänemark.* Nord. med ark. XII. No. 8 No. 15.
B. J. JEFFRIES. *Report of the examination of 27927 school-children for Color-blindness.* Boston
MAGNUS. *Examination of colour-blindness.* Boston. Med. a. Surg. Journ. CII. (5.) . 117.
L. MEYER. *Osservazioni sulla cecità pei colori in Italia.* Ann. di Ottalm. Anno IX. S. 190—196.
A. SCHMITZ. *Statistische Mittheilungen uber das Vorkommen von Farbenblindheit in Cleve und Umgegend.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IV. S. 275—278

1881.

V. T. BACON. *Report of examinations of railroad employés. Color-Blindness.* Conn. State Board Health Report 1881.
L. W. BARTLETT. *Color-Blindness.* State Board Health Rep. Wisconsin. S. 16—27.
DE FONTENAY. *Farvedblind hedens Betydning for Jernbanere.* Jernbanebladet. 1. November.
. W. HOLLAND. *Farbenblindheit bei Eisenbahnbediensteten.* Gesundheit. III. S. 61.
HELLBERG. *Jakttagelser rorande farghlindhet.* Nord. med. Ark. XII.
. STILLING. *Simultancontrast bei Farbenprufungen* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 129—131.

1882.

SYDER BORTHEN. *Farbenblindheits-Untersuchungen von 550 Schulkindern in Throndhjem.* Norweg. Monatsbl. f. Augenheilkde. Dez.
I. KOLBE. *Untersuchungen auf Farbenblindheit in Rußland.* Wratsch No 28 u. 32. Deutscher Auszug in St. Petersburger Med. Wochenschr No. 43.
V. KROLL. *Ueber die günstigen Erfolge der Ausbildung des Farbensinnes* Hirschberg's Centralbl. f. Augenheilkde. Dez.
D. RUIZ Y SAUROMAN. *Estudios sobre el daltonismo aplicado à la navegacion* Bol. de med. nav. San Fernando. V. S. 97.
. SCHMITZ. *Weitere 2623 Untersuchungen auf Farbenblindheit.* Centralbl. f prakt. Augenheilkde. VI. September.
V. THOMSON. *The pratical examination of railway employees, as to color-blindness, acuteness of vision and hearing.* Med. News. Philadelphia. XL. S. 36.
L. VITALI. *L'acromatopsia, o daltonismo, considerata in modo speciale nei suoi rapporti col servizio ferroviario; ed esposizione del metodo Holmgren per riconoscerla ari.*

1883.

. B. BONO. *Il daltonismo nei delinquenti.* Arch f. psichiatr. etc Torino. IV. . 88.

5364. Velardi. *Rapporto del esame del senso cromatico nel personale del meridionali.* Ann. di Ottalm. S. 297.

1884.

5365. Foucher. *De la cécité des couleurs dans ses rapports avec les chemins d marine.* Union méd. de Canada. XIII. S. 49.

1885.

5366. J. Hogg. *Colour-blindness in the mercantile marine.* Brit. med. Journ. I

5367. Thomson. *A report of the examination of the employees of the Pennsy road as to color sense, acuteness of vision and hearing.* Transact. of t ophthalm. soc. Boston. S. 728.

5368. — *The sight and hearing of railway employées.* Pop. Sc. Monthly, Febr. S.

1886.

5369. Clark. *Examination of colour-blindness among the employees of the D. R. R. and its subdivisions.* Cinc. Lancet and Clin. XVII. S. 642.

5370. Woerms. *Le daltonisme chez les employés de chemin de fer.* Gaz. des hôp S. 188.

1887.

5371. T. H. Dickerson. *Colour-blindness; its present position in the mercant service.* Fort Wayne Journ. med. soc. VII. S. 178.

5372. K. Hoor. *Prüfung auf Farbenblindheit bei der k. k. Armee und Kr* Militärarzt. XXI. S. 73 u. 81.

5373. Pertorelli. *Il senso chromatico degli impiegati ferroviari.* Ann. d XV. S. 500.

5374. W. Thomson. *Color-blindness among railroad employes.* Med. News. Ph LI. S. 182.

5375. *Color-blindness among railway employees.* Science. IX. S. 41. X. S. 1

1888.

5376. S. T. Armstrong. *Colour-blindness in the mercantile marine of the uni* Brit. med. Journ. I. S. 188.

5377. Bickerton. *Sailors and their eyesight, including colour-blindness.* Ophth II. S. 1038.

5378. E. Ruiz y Sauromán. *El daltonismo en sus relaciones con la navegación.* med. nav. Madrid. XI. S. 131.

1889.

5379. F. W. Edridge-Green. *The detection of colour-blindness from a practica view.* London, Ballière, Tindall and Cox.

5380. Maréchal. *Recherches des daltoniens dans le recrutement maritime.* Rec. d' S. 33—37.

5381. Ruiz y Sauroman. *El daltonisme en sus relacionos con la navegacion.* Bol nav. Madrid. XII. S. 29, 133, 190, 241 u. 276. XIII. (1890.) S. 5.

1892.

5382. Libbrecht. *Du Daltonisme au point de vue de l'examen des employés du fer et de la marine.* Verhandl. d. X. internat. Congr. IV. S. 92.

5383. S. Snell. *On the importance of the examination of the eyes separately i of colour-vision.* Brit. med. Journ. No. 1622. S. 222.

5384. *Report of the Committee on colour vision.* Roy. Soc. Proc. LI. No. 311.

1893.

5385. *Colour-blindness in the mercantile marine.* Brit. med. Journ. No. 1706. S.

## § 21.

# Von der Intensität der Lichtempfindung.

### 1. Psychophysisches Gesetz, Adaptation, untere Reizschwelle, Gröfse des Eigenlichtes.

**1760.**

16. P. Bouguer. *Traité d'Optique sur la gradation de la lumière, publ. par Lacaille.* Paris.

**1837.**

17. Steinheil. Abhandl. d. math.-phys. Klasse der bayr. Akademie. S. 14.

**1844.**

18. Masson. *Études de photométrie électrique.* Compt. Rend. XVIII. S. 289. — Pogg. Ann. LXIII. S. 158.

**1845.**

9. Masson. Ann. de chim. et de phys. XIV. 150.

**1857.**

Förster. *Ueber Hemeralopie und die Anwendung eines Photometers im Gebiete der Ophthalmologie.* Habilitätsschr. Breslau.

**1858.**

Arago. *Oeuvres complètes.* X. S. 255.

*G. Th. Fechner. *Ueber ein wichtiges psychophysisches Grundgesetz zur Schätzung der Sterngrossen.* Leipzig. Aus den Abhandl. der sächs. Gesellschaft der Wissensch. Math.-phys. Klasse. IV. S. 457. — Nachtrag dazu im Berichte der sächsischen Gesellschaft. 1859. S. 58.

**1859.**

G. Th. Ruete. *Explicatio facti quod minimae paullum lucentes stellae tantum peripheria retinae cerni possint.* Programm. Leipzig.

**1860.**

G. Th. Fechner. *Elemente der Psychophysik.* Leipzig. 2 Bd.

**1861.**

H. Aubert. *Beiträge zur Physiologie der Netzhaut.* Abhandl. d. Schles. Ges. f. vaterl. Cultur. S. 49. — Moleschott's Unters. VIII. S. 243.

**1864.**

G. Th. Fechner. *Ueber die Frage des psychophysischen Grundgesetzes mit Rücksicht auf Auberts Versuche.* Leipz. Ber. S. 1—20.

H. Aubert. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau. S. 23—153.

**1867.**

V. Hensen. *Ueber das Sehen in der fovea centralis.* Virch. Arch. f. pathol. Anat. XXXIX. S. 475.

**1870.**

A. Sichel. *De l'anesthésie rétinienne.* Ann. d'ocul.

M. Woinow. *Zur Frage über die Intensität der Farbenempfindungen.* Arch. f. Ophthalm. XVI. 1. S. 251.

**1871.**

S. Lamansky. *Ueber die Grenzen der Empfindlichkeit der Augen für Spectralfarben.* Arch. f. Ophthalm. XVII. (1.) S. 123. Pogg. Ann. 1870. XVI. (1.) S. 251.

**1872.**

Delboeuf. *Recherches théoriques et expérimentales sur la mesure des sensations et spécialement des sensations de lumière et de fatigue.* Bull. Bruxelles. (2.) XXIV. S. 250—262. Inst. S. 413—416.

W. Dobrowolsky. *Ueber die Empfindlichkeit des Auges gegen die Lichtintensität verschiedener Spectralfarben.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 74—92. Monatsber. d. Königl. Akad. d. Wiss. zu Berlin. S. 119—122.

1. Kleiner. *Physiologisch-optische Beobachtungen.* II. *Ueber das psycho-physische resp. Weber'che Gesetz.* Pflüger's Arch. XVIII. S. 542—573.
2. G. E. Müller. *Zur Grundlegung der Psychophysik.* 2. Ausg. Berlin, Hofmann.
3. G. Schadow. *Die Lichtempfindlichkeit der peripheren Netzhauttheile im Verhältniss zu deren Raum- und Farbensinn.* Pflüger's Arch. XIX. S. 439—461.

1880.

4. A. Charpentier. *Sur la sensibilité de l'oeil aux différences de lumière.* Compt. Rend. T. 91. S. 49. — Gaz. méd. No. 30.
5. — *Sur la sensibilité visuelle et ses rapports avec la sensibilité lumineuse et la sensibilité chromatique.* Compt. rend. Bd. 91. No. 26. S. 1075. Gaz. méd. de Paris. 1881. No. 2.
6. — *Sur la sensibilité différentielle de l'oeil pour de petites surfaces lumineuses.* Compt. Rend. Bd. 91. S. 240.
7. — *Sur les variations de la sensibilité lumineuse suivant l'étendue des parties rétiniennes excitées.* Compt. Rend. T. 91. S. 995.
8. Heuse. *Eine Beobachtung über das Eigenlicht der Macula lutea.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (3.) S 147.

1881.

9. F. Boas. *Ueber eine neue Form des Gesetzes der Unterschiedsschwelle.* Pflüger's Arch. Bd. 26. S. 493.
0. E. v. Brücke. *Ueber einige Consequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie.* 2. Abh. Wien. Acad. Ber. Bd. 84. (3.) S. 425—458.
1. Ole B. Bull. *Studien über Lichtsinn und Farbensinn.* Arch. f. Ophth. XXVII. (1.) S. 54.
2. W. Dobrowolsky. *Ueber die Veränderung der Empfindlichkeit des Auges gegen Spectralfarben bei wechselnder Lichtstärke derselben.* Arch. f. d. ges. Physiol XXIV. S. 189—202. — Russisch in Klinitscheskaja Gazeta. No. 3 u. 4.
3. J. Macé de Lépinay et W. Nicati. *Héméralopie et torpeur rétinienne, deux formes opposées de daltonisme.* Compt. Rend. Bd. 92. No. 24. S. 1412. Gaz. méd. de Paris. No. 27. S. 387.
4. H. Parinaud. *De l'héméralopie dans les affections du foie et de la nature de la cécité nocturne.* Arch. génér. de méd. April. S. 403—414.
5. — *L'héméralopie et les fonctions du pourpre visuel.* Compt. Rend. Bd. 93. No. 5. S. 286. — Gaz. méd. de Paris. No. 34. S. 484.
6. H. Schmidt-Rimpler. *Hemeralopie.* Eulenburg's Real-Encyclop. d. ges. Heilkde. VI. S. 400—402.

1882.

7. E. Albert. *Ueber die Aenderungen des Farbentones von Spectralfarben und Pigmenten bei abnehmender Lichtstärke.* Wiedem. Ann. XVI. S. 129.
8. Bayer. *Ueber Mondblindheit.* Wien. Med. Bl. Bd. IV. No. 21. — Sitzgs.-Ber. d. k. k. Ges. d. Aerzte. S. 645.
9. Berry. *On a practical test for the light sense.* Ophthalm. Rev. London I. S. 175.
0. F. Boas. *Die Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit nach der Methode der übermerklichen Unterschiede.* Pflüger's Arch. Bd. 28. S. 562.
1. — *Ueber die Grundaufgabe der Psychophysik.* Pflüger's Arch. Bd. 28. S. 566.
2. — *Ueber die verschiedenen Formen des Unterschiedsschwellenwerthes.* Pflüger's Arch. Bd. 27. S. 214.
3. — *Ueber die Berechnung der Unterschiedsschwellenwerthe nach der Methode der richtigen und falschen Fälle.* Pflügers Arch. Bd. 28. S. 84.
4. A. Charpentier. *Note complémentaire relative à l'influence de la surface sur la sensibilité lumineuse.* Arch. d'ophthalm. S. 487.
5. G. Th. Fechner. *Revision der Hauptpunkte der Psychophysik* Leipzig.
6. J. v. Kries. *Ueber die Messung intensiver Grofsen und uber das sog. psychophysische Gesetz.* Vierteljahrsschr. f. wissensch. Philos. VI. S. 257—294.

1883.

7. J. Bjerrum. *Untersuchungen uber den Formen- und Lichtsinn.* Diss. Kopenhagen.
8. A. Charpentier. *Nouvelles recherches sur la perception des différences de clarté.* Compt. Rend. Bd. 97. S. 1373.
9. — *Influence de la couleur sur la perception des différences de clarté.* Compt. Rend. Bd. 97. S. 1431.
0. Delboeuf. *Examen critique de la loi psychophysique.* Paris.

5461. W. Waldhauer. *Untersuchungen betr. die untere Reizschwelle Farbenblinder.* 64 S.

1884.

5462. J. Bjerrum. *Lichtsinnuntersuchungen.* Dtsch. med. Wochenschr. S. 705.
5463. A. Charpentier. *Recherches sur la perception des différences de clarté.* Arch. d'O S. 400.
5464. — *La perception des différences successives de l'éclairage.* Compt. Rend. Bd. 9
5465. O. E. Erdmann. *Ueber ungleiche Ermüdung centraler und peripherischer 1 Netzhaut.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. April u. Mai. S. 120.
5466. R. Hilbert. *Ortsbestimmung derjenigen Zone der Retina, in welcher lich Objecte am deutlichsten wahrgenommen werden.* Fortschr. d. Med. No. 24.
5467. E. Miéville. *Nouvelle méthode de détermination quantitative du sens lu chromatique.* Arch. d'ophthalm. März-April.
5468. H. Parinaud. *Sur la sensibilité visuelle.* Compt. Rend. Bd. 99. S. 241.
5469. Samelsohn. *Lichtsinnuntersuchungen.* Dtsch. med. Wochenschr. S. 705.
5470. H. Schmidt-Rimpler. *Commotio retinae. Herabsetzung des Lichtsinnes.* Klin. Bl. f. Augenheilkde. XII. Juni.
5471. L. Wolffberg. *Ueber Prüfung des centralen und peripheren Lichtsinnes.* Si d. physik.-med. Soc. zu Erlangen vom 12. Mai. — Ztschr. f. Instr.-Kde. I

1885.

5472. Breton. *Mesure expérimentale de l'intensité des sensations lumineuses en des quantités de lumière.* Ass. franç. Grenoble. XIV. (1.) S. 103—104. (2.) S.
5473. A. Charpentier. *Sur la mesure de l'intensité des sensations, en particulier des colorées.* Compt. Rend. Bd. 100. S. 1248—1251.
5474. — *Relation entre la sensibilité lumineuse et l'éclairage ambiant.* Compt. Re Soc. de Biol. II. S. 475.
5475. — *La perception différentielle dans le cas des éclairages ordinaires.* Com Bd. 100. S. 361—362.
5476. — *La perception lumineuse simultanée.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. I
5477. J. Hirschberg. *Ueber Gelbsehen und Nachtblindheit der Icterischen.* Be Wochenschr. No. 23.
5478. E. Kraepelin. *Zur Frage der Gültigkeit des Weberschen Gesetzes bei Lic dungen.* Philos. Stud. II. S. 306—327. Nachtrag. S. 651—655.
5479. J. v. Kries u. Brauneck. *Ueber einen Fundamentalsatz aus der Th Gesichtsempfindungen.* du Bois' Arch. S. 79—84.
5480. L. Roy. *Examen du sens de la lumière d'après une méthode basée sur la d du sens des couleurs vis-à-vis le sens de la lumière.* Rev. clin. d'ocul. V. S. 1
5481. Th. Treitel. *Ueber Hemeralopie und Untersuchung des Lichtsinnes.* Arch. f. O XXXI. (1.) S. 139.
5482. — *Eine neue Methode der numerischen Bestimmung des Lichtsinnes.* Centralbl. Augenhlkde. Januar.
5483. — *Tafeln zur numerischen Bestimmung des Lichtsinnes.* Königsberg i. Pr.
5484. L. Wolffberg. *Ueber die Prüfung des Lichtsinnes.* Gräfe's Arch. XXXI. (1.)
5485. — *Demonstration eines Apparates zur centralen und perimetrischen Lichtsinn* Ber. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. 1885.
5486. W. Wundt. *Ueber das Webersche Gesetz.* Wundt's Stud. Bd. II. S. 1—3

1886.

5487. Berry. *Day-blindness.* Edinb. med. Journ. XXXI. S. 1030.
5488. — *Night-blindness.* Edinb. med. Journ. XXXI. S. 1025.
5489. J. Bjerrum. *Bemärkning i anledning af en passus i Dr. Philipsen's Artikel hedssans.* (*Bemerkung wegen Dr. P.'s Abhandlung über den Lichtsinn.*) Hosp. Tid S. 851.
5490. A. Charpentier. *La sensibilité lumineuse et l'adaption rétinienne.* Arch. d'ophthal
5491. — *Faits complémentaires relatifs à l'intensité des sensations lumineuses.* d'ophthalm. S. 289.
5492. A. Elsas. *Ueber die Psychophysik.* Marburg.
5493. R. Hilbert. *Ueber die Erkenntlichkeit der Farben bei herabgesetzter Bel* Memorab. Heft 1.
5494. A. Köhler. *Ueber die hauptsächlichsten Versuche einer mathematischen For des psychophysischen Gesetzes von Weber.* Wundt's Stud. III. S. 572.

5. A. Lehmann. *Ueber die Anwendung der Methode der mittleren Abstufungen auf den Lichtsinn.* Philos. Stud. III. S. 497—533.
6. H. Philipsen. *Undersögelse af öjets klarhedssans og denne undersögelses kliniske betydning og omraade.* (*Die Untersuchung des Lichtsinnes und ihre klinische Bedeutung.*) Hosp. Tid. No. 33—34.

1887.

7. Breton. *Mesure des sensations lumineuses en fonction des quantités de lumière.* Compt. Rend. Bd. 105. S. 426.
8. A. Charpentier. *Nouveaux faits sur la sensibilité lumineuse.* Arch. d'Ophthalm. VII. S. 13.
9. H. Ebbinghaus. *Die Gesetzmäßigkeit des Helligkeitscontrastes.* Sitzgs.-Ber. d. Acad. d. Wiss. zu Berlin. S. 994.
0. G. Th. Fechner. *Ueber die psychischen Maaßprincipien und das Weber'sche Gesetz.* Wundt's Philos. Studien. IV. S. 161—230.
1. E. Hering. *Ueber Newton's Gesetz der Farbenmischung.* Lotos. VII. S. 177. — Sep. Leipzig, Freytag. 92 S.
2. H. Neiglick. *Zur Psychophysik des Lichtsinnes.* Wundt's Philos. Stud. IV. S. 28—111.
3. — *Sur quelques rapports entre la loi de Weber et les phénomènes de contraste lumineux.* Rev. Philos. Paris. XXIV. S. 180.
4. Seggel. *Sehprobentafeln zur Prüfung des Lichtsinnes.* Ber. d. XIX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. Beil. zu klin. Monatsbl. f. Augenhlkde. XXV. S. 202—204.
5. Th. Treitel. *Ueber das Verhalten der normalen Adaptation.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. (2.) S. 73.
6 — *Ueber das Wesen der Lichtsinnstörung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. (1.) S. 31.
7. L. de Wecker u. Masselon. *Échelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle, le sens chromatique et le sens lumineux.* Paris, Doin. 64 S.
8. W. Wundt. *Bemerkungen zu Neiglick's Aufsatz: Zur Psychophysik des Gesichtssinnes.* Philos. Stud. IV. S. 112—116.

1888.

9. H. Ebert. *Ueber den Einfluſs der Schwellenwerthe der Lichtempfindung auf den Character der Spectra.* Wiedem. Ann. XXXIII. S. 136—155
0. A. E. Fick. *Studien über Licht und Farbenempfindung.* Pflüger's Arch. f. die ges. Physiol. XLIII. S. 441.
1. A. König u. E. Brodhun. *Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel in Bezug auf den Gesichtssinn.* Sitzgs.-Ber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin. S. 917—931.
2. S. P. Langley. *Energy and vision.* Americ. Journ. of sc. XXXVI. S. 359.
3. A. Meinong. *Ueber Sinnestäuschung. Belege des Weber'schen Gesetzes.* Vierteljahresschr. f. wiss. Philos. XII. S. 1—31.
4. J. Merkel. *Die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung.* Wundt's Philos. Stud. IV. S. 541—595. V. S. 245—291, 499—557. (1889.)
5. H. Parinaud. *Échelle optométrique, acuité visuelle, perception de la lumière et des couleurs.* Paris, Roulot.
6. Segal, S. *Ueber die Lichtempfindlichkeit der Netzhaut und eine einfache Methode zu deren Bestimmung.* (Russisch.) Russk. Mediz. No. 1 u. 2.
7. Seggel. *Sehproben-Tafeln zur Prüfung des Lichtsinnes.* München. Litter.-artist. Anstalt.

1889.

8. V. Basevi. *Influenza dell' adattamento sulla sensibilità retinica per la luce e per i colori.* Ann. di Ottalm. XVII. S. 475.
9. H. Ebbinghaus. *Ueber den Grund der Abweichungen von dem Weber'schen Gesetz bei Lichtempfindungen.* Pflügers Arch. XLV. S. 113.
0. H. Ebert. *Bemerkungen zu Herrn Langley's Aufsatz „Energy and vision".* Wiedemanns Ann. XXXVI. (2.) S. 592.
1. G. Th. Fechner. *Elemente der Psychophysik.* 2. unveränd. Aufl., m. Hinweis auf d. Verf. spät. Arb. u. e. chronologisch geordneten Verzeichnis seiner sämmtl. Schriften. 2 Teile. Hrsgb. v. W. Wundt. Breitkopf & Härtel. Leipzig. 346 u. 571 S.
2. H. v. Helmholtz. *Ueber das Eigenlicht der Netzhaut.* Verhandl. d. Physik. Ges. zu Berlin. VII. 13. S. 85.
3. A. König und E. Brodhun. *Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel in Bezug auf den Gesichtssinn.* (2. Mitth.) Sitzgs.-Ber. d. Berl. Akad. d. Wiss. S. 641—644.

5524. S. P. LANGLEY. *Energy and Vision.* Philos. Mag. Jan. 1889. S. 1. — Chim. et de Phys. XVII. 5. S. 62.
5525. F. C. MÜLLER-LYER. *Psychophysische Untersuchungen.* Du Bois-Reymon Suppl. S. 91—141.
5526. O. MURANI. *Ricerche sperimentali sulla legge psicofisica di Fechner.* Ren (2.) XXII. S. 542.
5527. P. TANNERY. *Philosophie mathématique.* Rev. Philos. XXVII. S. 73—82.
5528. TH. TREITEL. *Ueber den Lichtsinn der Netzhautperipherie.* Graefe's Arch. f. ( XXXV. (1.) S. 50—75.

1890.

5529. V. BASEVI. *Influenza dell'adattamento sulla sensibilita retinica per la luce e p* Ann. di Ottalm. XVIII. S. 475.
5530. H. EBBINGHAUS. *Ueber negative Empfindungswerthe.* Zeitschr. f. Psychol. bis 334, 463—485.
5531. G. TH. FECHNER. *Briefe über negative Empfindungswerthe.* Herausg. v. W Zeitschr. f. Psychol. I. S. 29—46, 108—120.
5532. H. v. HELMHOLTZ. *Die Störung der Wahrnehmung kleinster Helligkeitsu durch das Eigenlicht der Netzhaut.* Zeitschr. f. Psychol. I. S. 5—17.
5533. G. ITELSON. *Zur Geschichte des psychophysischen Problems.* Arch. f. Gesch. III. S. 282—290.
5534. M. RADAKOVIC. *Ueber Fechner's Ableitungen der psychophysischen M* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XIV. S. 1—26.
5535. O. SCHIRMER. *Ueber die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für den* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. 4. S. 121—149.

1891.

5536. W. de W. ABNEY. *On the limit of visibility of the different rays of the* Preliminary Note. Proceed. of the Roy. Soc. XLIX. S. 509—518.
5537. BJERRUM, J. *Eine Bemerkung über den Helligkeitssinn.* Graefe's Arch. f. O Bd. 37. (3.) S. 261—262.
5538. H. EBBINGHAUS. *Ein Mifsverständniss.* Zeitschr. f. Psychol. II. S. 335—
5539. H. v. HELMHOLTZ. *Versuch, das psychophysiche Gesetz auf die Farbenunt trichromatischer Augen anzuwenden.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 1—20.
5540. — *Versuch einer erweiterten Anwendung des Fechnerschen Gesetzes im Farb* Zeitschr. f. Psychol. II. S. 1—30.
5541. — *Kürzeste Linien im Farbensystem.* Sitzgs.-Ber. der Berl. Akad. S. 1071—1
5542. E. LINDEMANN. *Ueber eine von Prof. Ceraski angedeutete persönliche Glei Helligkeitsvergleichungen der Sterne.* Bull. de l'Acad. d. Sc. de St. Petersbourg. (1.) S. 77—82.

1892.

5543. O. SCHIRMER. *Ueber die Adaptation im gesunden und kranken Auge.* Verha X. internat. Kongresses. IV. S. 58.
5544. SCHTSCHEPOTIEW. *Beiträge zur Lehre über die Hemeralopie.* Wratsch. No. 44.
5545. A. STEFANINI. *Sulle leggi psicofisiche di Fechner e di Plateau.* Il Nuovo C (3.) XXXI. 5/6. S. 235
5546. TH. WERTHEIM. *Eine Beobachtung über das indirekte Sehen.* Zeitschr. f. I III. S. 172—174.
5547. CHR. WIENER. *Die Empfindungseinheit zum Messen der Empfindungsstärke.* W Ann. Bd. 47. S. 659—670.
5548. — *Die Zerstreuung des Lichtes durch matte Oberflächen und die Empfindung zum Messen der Empfindungsstärke.* In: Festschrift der Technischen Hoc zu Karlsruhe.

1893.

5549. W. DE W. ABNEY. *The sensitiveness of the eye to light and colour.* Nature. Vol. S. 538—542.
5550. E. BRODHUN *Die Gültigkeit des Newtonschen Farbenmischungsgesetzes bei d grünblinden Farbensystem.* Zeitschr. f. Psychol. V. S. 323—334.
5551. CH. HENRY. *Sur le minimum perceptible de lumière.* Compt. Rend. Bd. 1 S. 96—98.
5552. R. KATZ. *Beitrag zum Studium der peripherischen Lichtempfindlichkeit des* (Russisch.) Westn. Ophthalm. Juli-Octbr.

553. R. Katz. *Apparat zur klinischen Prüfung der Lichtempfindlichkeit des Auges.* (Russisch.) Wratsch. No. 9.

554. — *Apparat zur numerischen Bestimmung der centralen und peripheren Lichtempfindlichkeit des Auges (Lichtsinn-Perimeter).* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. März. S.73—75.

555. K. Marbe. *Die Schwankungen der Gesichtsempfindungen.* Wundt's Philos. Stud. Bd. VIII. S. 615—637.

556. K. Petrén. *Untersuchungen über den Lichtsinn.* Skand. Arch. f. Physiol. IV. S. 421—447.

1894.

57. A. Catania. *Sull' essenza dell' emeralopia.* Arch. di Ottalm. I. 8/9.

58. K. Degenkolb. *Versuche über den Einfluß einiger Genußmittel auf das Vermögen des Auges, feine Helligkeitsunterschiede wahrzunehmen.* Diss. Tübingen 1894.

59. H. Dreser. *Ueber die Beeinflussung des Lichtsinnes durch Strychnin.* Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmakol. XXXIII. 2/3. S. 251—260.

60. P. L. Gray. *The Minimum Temperature of Visibility.* Philos. Mag. XXXVII. No. 229. S. 549—557.

61. W. A. Holden. *Die Prüfung des Lichtsinnes in der Peripherie der Retina zu diagnostischen Zwecken* Arch. of Ophthalm. XXIII. S. 40—49. Abgekürzte Uebers. Arch. f. Augenheilkde. XXX. 1. S. 57—61.

62. Mislawsky. *Apparat zur Untersuchung der Empfindlichkeit der Retina für Helligkeitsdifferenzen.* Wratsch. No. 16.

63. Romano. *Ueber das Wesen der Hemeralopie.* Arch. di Ottalm. I. S. 5—9.

64. L. W. Stern. *Die Wahrnehmung von Helligkeitsveränderungen.* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 249—278 u. 395—397.


## 2. Isochrome und heterochrome Photometrie.


1775.

65. W. J. G. Karsten. *Untersuchungen über die ersten Gründe der Photometrie.* Münchener Akad. IX.

1814.

66. J. Fraunhofer. *Bestimmung des Brechungs- und des Farbenzerstreuungsvermögens verschiedener Glasarten in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernrohre.* Denkschr. der bayr. Akad. V. S. 211.

1825.

67. Purkinje. *Zur Physiologie der Sinne.* II. S. 109.

1852.

68. *H. W. Dove. *Ueber den Einfluß der Helligkeit einer weißen Beleuchtung auf die relative Intensität verschiedener Farben.* Berl. Monatsber. S. 69—78. Pogg. Ann. LXXXV. S. 397—408. Inst. 1852. S. 193. Phil. Magaz. (4.) IV. S. 246—249. Arch. d. sc. phys. XXI. S. 215—219. Cosmos. I. S. 208—211.

69. Pouillet. Compt. Rend. XXXV. S. 373—379. Pogg. Ann. LXXXVII. S. 490—498. Inst. S. 301. Cosmos. I. S. 546—549.

1854.

70. J. J. Oppel. *Ueber den Einfluß der Beleuchtung auf die relative Lichtstärke verschiedener Farben.* Jahresber. des Frankf. Vereins. 1853—54. S. 44—49.

1855.

71. H. Helmholtz. *Ueber die Zusammensetzung von Spectralfarben.* Pogg. Ann. XCIV. S. 18—21.

1862.

72. H. Aubert. *Ueber subjective Lichterscheinungen.* Pogg. Ann. CXVII. S. 638—641.

1863.

73. v. Wittich. *Ueber die geringsten Ausdehnungen, welche man farbigen Objecten geben kann, um sie noch in ihrer specifischen Farbe wahrzunehmen.* Königsberger Med. Jahrbücher. IV. S. 23—55.

74. A. W. Volkmann. *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.* Heft 1. Leipzig.

1869.

75. F. A. Keller. *Ueber die ungleiche Sichtbarkeit der Farben bei Dämmerlicht und die ungleiche photographische Arbeit derselben bei hellem Tageslicht.* Polyt. C. B. S. 1395. Compt. Rend. Bd. 69. S. 278—280.

5576. K. Vierordt. *Beschreibung einer photometrischen Methode zur Messung* ( *gleichung der Stärke des farbigen Lichtes.* Pogg. Ann. Bd. 137. S. 200.

**1870.**

5577. A. v. Hippel. *Ueber ein Photometer.* Berl. klin. Woch. S. 424.
5578. Landsberg. *Des effets de la lumière des lampes sur la vue.* Bull. d'( des sc. S. 310.
5579. K. Vierordt. *Die Messung der Lichtabsorption durchsichtiger Medien mi Spektralapparats.* Pogg. An. Bd. 140. S. 172.

**1871.**

5580. K. Vierordt. *Die Anwendung des Spectralapparates zur Messung und Ve der Stärke des farbigen Lichtes.* Tübingen.

**1872.**

5581. W. Dobrowolsky. *Ueber gleichmäſsige Ab- und Zunahme der Lichtinten schiedener Spectralfarben bei gleichmäſsiger Ab- und Zunahme der Lichts Gesammtlichtes.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 92—98.
5582. H. Helmholtz. *Ueber Versuche des Herrn Dobrowolsky, die Empfindli Auges gegen Unterschiede der Lichtintensität verschiedener Spektralfarben* ( Monatsber. d. Berl. Akad. Sitz. v. 19. Febr. 1872. S. 119—122.

**1873.**

5583. Yvon. *Ein auf die Reliefempfindung gegründetes Photometer.* Pogg. Ann. S. 334. Compt. Rend. T. 75. S. 1102.

**1874.**

5584. C. Bohn. *Photometrische Untersuchungen.* (*Helligkeit der Farben, Unterschied lichkeit, Grenzen der Farbenempfindung u. A.*) Pogg. Ann. Ergänzung S. 386.
5585. v. Zahn *Ueber die photometrische Vergleichung verschiedenfarbiger Li* Sitzgs.-Ber. d. Naturf. Ges. zu Leipzig. No. 3 u. 4.

**1875.**

5586. W. Dobrowolsky. *Ueber die Empfindlichkeit des Auges für Lichtstärke de im Centrum und auf der Peripherie der Netzhaut.* (Russisch.) Petersb. M No. 31—35.
5587. — *Ueber die Empfindlichkeit des Auges gegen die Lichtintensität der (Farbensinn) im Centrum und auf der Peripherie der Netzhaut.* Pflüge Bd. XII. S. 441—471.

**1876.**

5588. Gouy. *Recherches photométriques sur les flammes colorées.* Compt. Rend. S. 269—272.
5589. Trannin. *Photometrische Messungen in den verschiedenen Theilen des S* Journ. de phys. théor. et prat. V. S. 297.

**1877.**

5590. A. Charpentier. *Nouvel instrument pour l'exploration de la sensibilité r* Gaz. Méd. de Paris.
5591. A. Riccò. *Relazione fra il minimo angolo visuale e l'intensità luminosa.* Ł R. Accad. di sc. di Modena VIII. § 3.
5592. S. P. Thompson. *On the relative apparent brightness of objects in binocu monocular vision.* Rep. Brit. Assoc. f. the advanc. of Sc.

**1878.**

5593. E. Brücke. *Ueber einige Empfindungen im Gebiete des Sehnerven.* Wien. Ber Abth. 3.
5594. O. N. Rood. *On the photometric comparison of light of different colou* Journ. 3. XV. S. 81.

**1879.**

5595. A. Charpentier. *Sur la sensibilité de l'oeil à l'action de la lumière colorée moins additionnée de lumière blanche et sur la photométrie des couleurs.* Ga No. 9. — Compt. Rend. Bd. 88. S. 299.

**1880.**

5596. J. W. Draper. *On a new standard of light.* Phil. Mag. (5.) IX. S. 76. — asiat. Soc. of Bengal. XLVIII. S. 83—94.
5597. J. Macé de Lépinay et W. Nicati. *Etude sur la distribution de la lumi le spectre solaire.* Compt. Rend. Bd. 91. S. 623—625.

98. J. Macé de Lépinay et W. Nicati. *De la distribution de la lumière dans le spectre solaire (spectre des Daltoniens).* Compt. Rend. Bd. 91. S. 1078—1080. Rev. méd. franç. et étrang. 15. Jan. 1881.
99. Napoli. *Un nouveau photomètre.* Séances de la Soc. franç. de Physique, séance du 19. mars.
00. L. Schwendler. *Eine neue Lichteinheit.* Journ. asiat. Soc. of Bengal. 48. S. 83 bis 94. (1879.) — Beibl. z. d. Ann. d. Phys. u. Chem. IV. 4. S. 280.

1881.

01. O. Becker. *Ueber heterochrome Photometrie.* Ber. üb. d. XIII. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. (Rostock.) S. 167—172.
02. E. v. Brücke. *Ueber einige Consequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie.* (2. Abh.) Wien. Akad. Ber. Bd. 84 (3.) S. 425—458.
03. A. Charpentier. *Sur la sensibilité visuelle dans ses rapports avec la sensibilité lumineuse et la sensibilité chromatique.* Gaz. d. Hôpit. No. 2. S. 21. — The Med. Record. 16. April.
04. — *Sur la quantité de lumière nécessaire pour percevoir la couleur d'objets de différentes surfaces.* Compt. Rend. Bd. 92. No. 2. S. 92—94. Rev. méd. No. 9.
05. — *Remarques sur la sensibilité de l'oeil aux différences de lumière successives.* Arch. d'ophthalm. franç. I. No. 2. S. 152—156.
06. A. Crova. *Comparaison photométrique des sources lumineuses de teintes différentes.* Compt. Rend. Bd. 93. No. 13. S. 512.
07. — *Étude sur les spectrophotomètres.* Compt. Rend. Bd. 92. No. 1. S. 36.
08. A. Crova u. Lagarde. *Détermination du pouvoir éclairant des radiations simples.* Compt. Rend. Bd. 93. No. 23. S. 959—961. Journ. de phys. (2.) I. S. 162—169. (1882.)
09. W. Dobrowolsky. *Ueber die Veränderung der Empfindlichkeit des Auges gegen Spektralfarben, bei wechselnder Lichtstärke derselben.* Pflüger's Arch. XXIV. S. 189—202.
10. H. Krüss. *Photometer und Helligkeitsmessungen.* Centralztg. f. Opt. u Mechan. No. 1, 2, 3.
11. S. P. Langley. *Ueber die Vertheilung der Energie im normalen Sonnenspectrum.* Compt. Rend. Bd. 92. S. 701—703. Bd. 93. S. 140—143.
12. J. Macé de Lépinay u. W. Nicati. *Recherches sur la comparaison photométrique des diverses parties d'un même spectre.* Ann. de Chim. et de Phys. (5). XXIV. S. 289—336.

1882.

13. A. Charpentier. *Etude de l'influence de la coloration sur la visibilité des points lumineux.* Arch. d'ophthalm. S. 542.
14. — *Sur la visibilité des points lumineux.* Compt. Rend. Bd. 95. S. 148.
15. — *Description d'un photoptomètre différentiel.* Arch. d'Ophthalm. S. 418.
16. H. Cohn. *Ueber Farbenempfindungen bei schwacher künstlicher Beleuchtung.* Arch. f. Augenheilkde. Bd. 11. S. 283.
17. J. Kramer. *Untersuchungen über die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Art und dem Grade der Beleuchtung.* Dissert. Marburg.
18. J. Macé de Lépinay et W. Nicati. *Recherches expérimentales sur le phénomène de Purkinje.* Journ. de Phys. (2.) I. S. 33. — Crón. cicat. Barcelona. V. S. 241.
19 — *Relation entre la loi de Bouguer-Masson et le phénomène de Purkinje.* Compt. Rend. Bd. 94. S. 785.
20. Rosenstiehl. *De l'intensité relative des couleurs.* Séances de la Soc. franç. de Phys. April-Juli. S. 103
21. — *De l'emploi des disques tournants pour l'étude des sensations colorée: intensité relative des couleurs.* Compt. rend. T. 94. S. 1411.

1883.

22. H. Aubert. *Die Helligkeit des Schwarz und Weiss.* Pflüger's Arch. XXXI. S. 223.
23. Conroy. *A new Photometer.* Philos. Mag. S. 423.
24. A. Crova. *Description d'un spectrophotomètre.* Ann. de Chim. et Phys. S. 556.
25. J. Macé de Lépinay. *Sur une méthode pratique pour la comparaison photométriquedes sources usuelles diversement colorés.* Compt. Rend. Bd. 97. S. 1428
26. Sabine. *On a Wedge- and Diaphragm-Photometer.* Philos. Mag. Januar. S. 22.

5657. A. Kirschmann. *Ueber die Helligkeitsempfindung im indirecten Sehen.* Philos. Stud. V. S. 447—497.

5658. O. Lummer und E. Brodhun. *Photometrische Untersuchungen. I. Über ein neues Photometer.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. S. 41—50. *II. Lichtmessung durch Schätzung gleicher Helligkeitsunterschiede, Contrastphotometer.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. IX. 12. S. 461—465.

5659. — *Ersatz des Photometerfleckes durch eine rein optische Vorrichtung.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. IX. 2. S. 23—25. Naturw. Rundsch. IV. 7. S. 81.

1890.

5660. E. Brücke. *Ueber zwei einander ergänzende Photometer.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. X. S. 11—16.

5661. G. Mengarini. *Ueber das Maximum der Lichtstärke im Sonnenspectrum.* Moleschott's Unters. XIV. 2. S. 119.

1891.

5662. A. König. *Ueber den Helligkeitswerth der Spectralfarben bei verschiedener absoluter Intensität.* Nach gemeinsam mit R. Ritter ausgeführten Versuchen. In: Beiträge zur Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane. Helmholtz-Festschr. S. 309 bis 388. — Auch separat. Hamburg. L. Voss.

1892.

5663. W. de W. Abney and E. R. Festing. *Colour Photometry.* Phil. Transact. Vol. 183. S. 531—565.

5664. J. H. Lambert. *Photometrie (Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae 1760).* Deutsch herausgegeben von E. Anding. Erstes Heft (Theil I und II). 135 S. mit 35 Fig. Zweites Heft (Theil III, IV und V) 112 S. m. 32 Fig. Drittes Heft (Theil VI und VII) 172 S. mit 8 Fig. W. Engelmann. Leipzig.

5665. E. W. Lehmann. *Ueber ein Photometer.* Dissert. Erlangen. 24 S.

5666. O. Lummer und E. Brodhun. *Photometrische Untersuchungen. V. Über ein neues Spektralphotometer.* Zeitschr. f. Instrumentenkde. S. 133—140.

5667. A. Palaz. *Traité de photométrie industrielle spécialement appliquée à l'éclairage électrique.* 280 S. Georges Carré, Paris.

5668. M. Sachs. *Ueber den Einfluss farbiger Lichter auf die Weite der Pupille.* Pflüger's Arch. Bd. 52. S. 79—86.

5669. Ch. Wiener. *Die Empfindungseinheit zum Messen der Empfindungsstärke.* Wied. Ann. Bd. 47. S. 659—670.

1893.

5670. E. Gruber. *Untersuchungen über die Helligkeit der Farben.* Wundt's Philos. Stud. IX. S. 429—446.

5671. A. A. Mayer. *Studies of the Phenomena of Simultaneous Contrast Colour, and on a Photometer for Measuring the Intensities of Lights of different Colours.* Philos. Mag. XXXVI. No. 219. S. 153—175. Americ. Journ. of sc. Vol. XLVI. July.

5672. O. N. Rood. *On a photometric method which is independent of colour.* Americ. Journ. of Sc. Vol. XLVI. S. 173—176.

5673. M. Sachs. *Eine Methode der objectiven Prüfung des Farbensinnes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIX. 3. S. 108—125.

5674. S. P. Thompson. *Some Notes on Photometry.* Philos. Mag. (5.) XXXVI. S. 120—129.

5675. A. P. Trotter. *A new Photometer.* Philos. Mag. (5.) XXXVI. No. 218. S. 82—88.

## 3. Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtung.

1858.

5676. A. C. Twining. *The relation of illumination to magnifying power, when visibility is maintained.*

1861.

5677. H. Aubert. *Beiträge zur Physiologie der Netzhaut.* Abhandl. d. schles. Ges. S. 49—103.

1872.

5678. Klein. *De l'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle.* Paris. 108 S. Ausz. in Journ. de l'Anat. et Physiol. 1873. 3. S. 317—325.

1876.

5679. E. CARP. *Ueber die Abnahme der Sehschärfe bei abnehmender Beleuchtung neb neuen Methode, den Lichtsinn zu messen.* Marburg.

5680. W. DOBRINCKEL. *Ueber die Abnahme der Sehschärfe bei abnehmender Bele* Marburg.

5681. A. POSCH. *Ueber Sehschärfe und Beleuchtung.* Arch. f. Augen- u. Ohrenhl S. 14.

1877.

5682. E. JAVAL. *Mesure de l'acuité visuelle en tenant compte de l'éclairage.* Gaz. h S. 398. Gaz. d. Hôpit. S. 509. Gaz. Méd. S. 337.

5683. A. RICCÒ. *Relazione fra il minimo angolo visuale e l'intensità luminosa.* d'Ottalm. Ann. VI. f. 3.

5684. — *Ueber die Beziehungen zwischen dem kleinsten Sehwinkel und der Lichtint* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 122—126.

1878.

5685. G. ALBERTOTTI. *Ueber das Verhältnifs zwischen V (Sehschärfe) und L (Hel* Ann. di Ottalm. I. S. 1—18.

1879.

5686. E. JAVAL. *Essai sur la physiologie de la lecture.* Cap. 5. *Influence de l'éclair l'acuité visuelle.* Ann. d'Ocul. Januar bis Juni.

1881.

5687. H. PARINAUD. *Détermination numérique de l'acuité visuelle pour les couleur lumière. Chromoptomètre.* Ann. d'Oculist. Bd. 85. S. 113—134.

1883.

5688. A. CHARPENTIER. *Expériences relatives à l'influence de l'éclairage sur l'acuité* Arch. d'Ophthalm. III. S. 397.

5689. H. COHN. *Untersuchungen über die Sehschärfe bei abnehmender Beleuchtung.* Sitzg d. schles. Ges. 16. Nov. Bresl. ärztl. Ztg.

5690. W. MACÉ DE LÉPINAY und W. NICATI. *Recherches sur la comparaison photométriq diverses parties d'un même spectre.* Ann. de Chim. et Phys. 5. Serie. XXX.

1884.

5691. H. COHN. *Untersuchungen über die Sehschärfe bei abnehmender Beleuchtung.* A Augenheilkde. XII. 2/3. S. 223.

5692. L. WEBER. *Die photometrische Vergleichung ungleichfarbiger Lichtquellen.* El techn. Zeitschr. April.

1885.

5693. A. KÖNIG. *Ueber die Beziehungen zwischen der Sehschärfe und der Beleuchtungsint* Verhandl. d. physik. Ges. in Berlin. No. 16 Sitzg. v. 4. Dec.

5694. B. KOLBE. *Ueber den Einflufs der relativen Helligkeit und der Farbe des auf die Sehschärfe.* (Russisch.) Chodin's Westn. Oftalm. Bd. II. S. 289. Pf Arch. XXXVII. S. 562—581.

5695. W. UHTHOFF. *Ueber das Verhältnis der Sehschärfe zur Beleuchtungsintensität.* Ver d. physiol. Ges. zu Berlin. No. 6, 7, 8. Sitzg. a. 13. Febr. — Du Bois' Arch. f. Ph S. 231.

1886.

5696. H. COHN. *Ueber Sehschärfe bei photometrirtem Tageslicht und den Polarisations tister.* Tagebl. d. LIX. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzt. in Berlin. S. 222. — Ber. XVIII. Vers. d. ophthalm. Ges. S. 2. — Aerztl. Intelligenzbl. München. XX S. 586.

5697. J. ROSENTHAL. *Ueber Beleuchtung und den Zusammenhang derselben mit de schärfe.* Tagebl. d. LIX. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 416.

5698. W. UHTHOFF. *Ueber das Abhängigkeitsverhältnifs der Sehschärfe von der Be tungsintensität.* v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXII. (1.) S. 171.

1888.

5699. J. BJERRUM. *Bemärkninger om formindskelse af synsstyrken samt kliniske iagtt angaaende forholdet mellem synstyrke, klarhedssans og farvesans. (Bemerkungen Verminderung der Sehschärfe nebst klinischen Beobachtungen über das Verhältn Sehschärfe, Lichtsinn und Farbensinn.)* Nord. oftalm. Tidsskr. I. S. 95.

5700. J. TALKO. *Die Sehschärfe des Auges während der vollkommenen Sonnenfinst untersucht.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 481.

1889.

701. A. König. *Ueber die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Lichtintensität bei spectraler Beleuchtung.* Verhandl. physik. Ges. Berlin. VIII. S. 9—12.

1890.

702. W. Uhthoff. *Weitere Untersuchungen über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Intensität, sowie von der Wellenlänge im Spektrum.* Graefe's Arch. f. Ophthalm XXXVI. Abt. 1. S. 33—61.

1892.

703. A. Karvezki. *Du rapport entre l'intensité de l'éclairage et l'acuité visuelle.* (Russisch.) Thèse. St. Petersburg.

## 4. Irradiation.

1519.

704. Lionardo da Vinci. *Trattato della pittura.* Paris. 1651.

1595.

705. Mästlinus. *Disput. de pass. planet.* Thes. 148.

1602.

706. Tycho Brahe. *Tychonis Brahe Dani Astronomiae instauratae Progymnasmata.* Prag, cap. I.

1604.

707. Kepler. *Ad Vitellionem Paralipomena.* Frankfurt. S. 39, 200, 217—221, 285, 286, 445—446.

1610.

708. Galilei. *Sydereus Nuncius.*

1611.

709. Galilei. *Continuazione del Nunzio sidereo.*

710. — *Lettera at Padre Christoforo Grienberger.*

1612.

711. Galilei. *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari.* Roma 1613.

1613.

712. D'Aguilon. *Francisci Aguilonii opticorum libri sex.* Antwerpen. H. IV. S. 225.

1619.

713. Galilei. *Discorso delle comete di Mario Guiducci.* Opere II. S. 256, und 396. Systema cosmicum. Lyon 1641. Dial III. S. 248.

714. Sarsius. *Libra astronomica ac philosophica.* Perusiae.

715. Scheiner. *Oculus, hoc est fundamentum opticum.* Oeniponti. S. 132 u. 133.

1623.

716. Galilei. *Il saggiatore.* Rom. Opere di Galileo Galilei, Florenz 1718. II. S. 299, 329 u. 392—400.

1626.

717. Sarsius. *Ratio ponderum librae et simbellae etc.* Paris. S. 183.

1630.

718. Castelli. *Extrait d'une lettre.* Opere di Galileo Galilei, Florenz 1852. IX. S. 206.

1631.

719. Gassendi. *Mercurius in sole visus.* Paris. Petri Gassendi opera omnia, Lyon 1658. IV. S. 499.

1632.

720. Galilei. *Dialoghi quattro sopra i due massimi sistemi del mondo.* Florenz, Dial. 3.

721. Schickard. *Pars responsi ad epistolas P. Gassendi de Mercurio sub sole viso.* Tubingae. (Der Planet wird durch Irradiation verkleinert.)

1636.

722. Gassendi. *Epistola prima de apparente magnitudine solis humilis et sublimis.* Paris 1642. Petri Gassendi opera omnia Lyon 1658. III. S. 421 u. 422.

1637.

723. Descartes. *Dioptrique.* Leyde. Discours VI. S. 67 u. 68.

1640.

724. Gassendi. *Epistola secunda de apparente magnitudine solis humilis et sublimis.* Paris 1642. Petri Gassendi opera omnia, Lyon 1658. III. S. 422—431.

1641.

5725. Gassendi. *Epistola tertia de apparente magnitudine solis humilis et* Paris 1642. Petri Gassendi opera omnia, Lyon 1658. III. S. 456 u. 457.

1642.

5726. Gassendi. *Epistola III de proportione, qua gravia decidentia accelerantur* omnia. III. S. 585.

1647.

5727. Hevelius. *Selenographia, sive lunae descriptio.* Gedani.

1648.

5728. Plempius. *Ophthalmographia, sive tractatio de oculo.* 2. édit. Louvain. IV

1658.

5729. Gassendi. *Physica.* Sect. II. L. II, chap. V. Petri Gassendi opera Lyon 1658. L. S. 572—575, 580 u. 581.

1659.

5730. Huygens. *Christiani Hugenii systema saturnium.* Hagae comitis. S. 7.

1662.

5731. Horrox. *Venus in sole visa.* Gedani.

1667.

5732. H. Fabri. *Synopsis optica, in qua etc.* Lyon. Propos. VIII, XIV, XVII et c XVIII et coroll. 1, 2, 3.

1674.

5733. Milliet Dechales. *Cursus seu mundus mathematicus.* Lyon. Theil C propos. 26.

1685.

5734. Zahn. *Oculus artificialis teledioptricus etc.* Herbipolis.

1699.

5735. De la Hire. *Observation d'une éclipse de l'Oeil du Taureau etc.* M l'Acad. d. sc. de Paris.

1738.

5736. Jurin. *On distinct and indistinct vision:* Smith's Optics. § 53.

1739.

5737. Grandjean de Fouchy. *De atmosphaera Lunari.* Phil. Transact. XLI. S.

1743.

5738. Delisle. *Extrait d'une lettre écrite de Pétersbourg le 24 août 1743, et à Cassini.* Mém. de l'Acad. d. sc. de Paris. S. 419.

1748.

5739. Le Monnier. *Extrait des observations de la dernière eclipse annulaire du s 25 juillet 1748, observée en Écosse etc.* Mém. de l'Acad. d. sc. de Paris.

1751.

5740. Hamberger. *Physiologia medica.* Jena.

1762.

5741. De Lalande. *Observation qui prouve que le diamètre apparent de Vénus ne pas sensiblement, lors même qu'il est vu sur le disque lumineux du soleil.* M l'Acad. d. sc. de Paris.

1770.

5742. De Lalande. *Explication du prolongement obscur du disque de Vénus, aperçoit dans ses passages sur le soleil.* Mém. de l'Acad. d. sc. de Paris.

1782.

5743. F. W. Herschel. *On the diameter and magnitude of the Giorgium Sidu a description of the dark and lucid disk and periphery micrometers.* Phil. Tr 1783. I. S. 4.

1784.

5744. Le Gentil. *Sur la grandeur apparente des corps opaques vus sur un fond lu ou autrement.* Mém. de l'Acad. des sc. de Paris. 1784. S. 469.

1810.

5745. Hassenfratz. *Cours de physique céleste.* S. 23.

1811.

5746. Biot. *Traité élémentaire d'astronomie physique.* Edit. 2me. S. 534, 536.

1813.

5747. Arago. *Sur l'irradiation. Note inédite.* Oeuvres complètes. XI. S. 335.

1814.

48. Delambre. *Astronomie théorique et pratique.* T. II. Chap. 26. § 197. T. III. Chap. 29. § 12.

1820.

49. De Zach. *Éclipse annulaire du soleil, le 7. septembre 1820.* Correspond. astronom. IV. S. 171.

1821.

50. L. L. Vallée. *Traité de la science du dessin.* Paris. IV chap. VI u. VII.

1826.

51. J. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* S. 400.

1828.

52. Brandes. Gehler's neues Physik. Wörterbuch. V. S. 796.
53. J. Herschel. *On light.* I. § 697.
54. Leroy. *Vison centrale, irradiation et acuité visuelle.* Arch. d'ophthalm.
55. J. South. *On the occultation of δ Piscium by the moon, observed in Blackman-Street, etc.; references to recorded observations of occultations, in which peculiarities have been apparently seen, either at the Moon's limb or upon her disk; etc.* Mém. of the Astron. Soc. of London. III. 1829. S. 303.

1829.

56. Quetelet. *Positions de physique.* III. S. 81.

1830.

57. Hiort. *De functione retinae.* Christiania. 2. Theil. §§ 6 u. 61.

1831.

58. Robinson. *On Irradiation.* Mem. of the Astronom. Soc. of London. V. S. 1.
59. Joslin. *On Irradiation.* Transact. of the Americ. Philos. Soc. N. S. IV. (3) S. 340.

1832.

60. Bessel. *Durchgang des Merkur durch die Sonne.* Astronomische Nachrichten. Bd. X. S. 187.
61. D. Brewster. *On the undulations excited in the retina by the action of luminous points and lines.* Philos. Mag. (3.) I. S. 169.

1838.

62. *J. Plateau. *Mémoire sur l'irradiation.* Nouv. Mém. de l'Acad. de Bruxelles. T. XI. Pogg. Ann. Erg.-Bd. I. S. 79, 193, 405.

1839.

63. J. Plateau. *Note sur l'irradiation.* Bull. de l'Acad. de Belg. VI. (1.) S. 501.
64. — *Deuxième note sur l'irradiation.* Bull. de l'Acad. de Belg. VI. (2.) S. 102.

1840.

65. G. Th. Fechner. *Von der sog. Irradiation.* Pogg. Ann. L. S. 195

1842.

66. Valz. *Éclipse solaire du 8 juillet.* Bull. de l'Acad. de Belg. IX. (2.) S. 288.

1849.

67. Baden Powell. *On irradiation.* Memoirs of the London astronom. Society. XVIII. S. 69. — Inst. No. 818. S. 288. No. 840. S. 47. — Report of Brit. Assoc. 2. S. 21.

1850.

68. W. Haidinger. *Das Interferenzschachbrettmuster und die Farbe der Polarisationsbüschel.* Wien. Ber. VII. S. 389 u. 396. Pogg. Ann LXXXV. S. 350. — Cosmos I. S. 252, 454. (Fall von Irradiation, vermischt mit monochromatischen Abweichungen.)
69. Petrie. *On the powers of minute vision. Results from experiments for determining the best sort of station-marks, etc.* Report of the British Assoc. II. S. 183.

1851.

70. H. W. Dove. *Ueber die Ursache des Glanzes und der Irradiation, abgeleitet aus chromatischen Versuchen mit dem Stereoskop.* Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 169. — Berl. Monatsber. S. 252. — Phil. Mag. (4.) IV. S. 241. — Arch. d. sc. phys. et nat. XXI. S. 209. — Inst. No. 991. S. 421.

1852.

71. *H. Welcker. *Ueber Irradiation und einige andere Erscheinungen des Sehens.* Giefsen.
72. Fliedner. *Beobachtungen über Zerstreuungsbilder im Auge, sowie über die Theorie des Sehens.* Pogg. Ann. LXXXV. S. 348.

8. LEGRAND. *Sur l'erreur que comportent l'observation du passage de Mercure sur le soleil et beaucoup d'autres observations astronomiques.* Compt. Rend. Bd. 68. S. 244.

9. STONE. *On some points connected with the rediscussion of the observations of the transit of Venus 1769.* Monthly Notices of the Astron. Soc. of London. XXIX. S. 286.

**1871.**

0. WYLD. *Certain phenomena applied in solution of difficulties connected with the theory of vision.* Proc. of the Roy. Soc. of Edinburgh. VII. 1869—72. S. 355 u. 361.

**1873.**

1. T. K. ABBOT. *On the „Black Drop" in the Transit of Venus.* Phil. Mag. (4.) XLVI. S. 375.

2. LE ROUX. *Sur l'irradiation.* Compt. Rend. Bd. 76. S. 960.

**1874.**

3. M. DEVIC. *Sur l'observation d'un phénomène de la goutte noire.* Compt. Rend. Bd. 79. 2. S. 96.

4. WOLF et ANDRÉ. *Recherches sur les apparences singulières qui ont souvent accompagné l'observation des contacts de Mercure et de Vénus avec le bord du soleil.* Ann. de l'Observatoire de Paris, mémoires. X. 1.

**1876.**

5. ANDRÉ. *Sur le passage de Vénus du 9. décembre 1874.* Compt. Rend. LXXXII. S. 205.

**1878.**

6. ANDRÉ. *Résultats des observations du passage de Mercure.* Compt. Rend. LXXXVI. S. 1380.

7. — *Étude du ligament noir dans les passages des planètes devant le soleil.* Assoc. franç. sess. de Paris. — Rev. svient. 2. sér. 8. année.

**1879.**

8. CINTOLESI. *Intorno alle immagini accidentali o suggettive.* Ann. d'Ottalm. VIII. 2 u. 3. — Nature. XXI. 21. — Beibl. d. Physik. III. S. 711.

9. J. PLATEAU. *Un mot sur l'irradiation.* Bull. de l'Acad. roy. des sc. de Belg. No. 7. 2. sér. Bd. 48. S. 37.

**1880.**

0. J. PLATEAU. *Un mot sur l'irradiation.* Arch. de biol. I. S. 61—65.

**1881.**

1. ANDRÉ und ANGOT. *Origine du ligament noir dans les passages de Vénus et de Mercure et moyen de l'éviter.* Ann. scient. de l'Ecole norm. supér. 2. X. S. 323.

**1884.**

2. PROMPT. *Des lignes d'irradiation.* Nice méd. 1883—84. VIII. S. 145.

**1886.**

3. A. CHARPENTIER. *Propagation de la sensation lumineuse aux zones rétiniennes non excitées.* Compt. Rend. Bd. 102. S. 983.

4. J. KROUTIL. *Note über Irradiation.* (böhmisch) Casopis. XVI. S. 31—42.


---

# § 22.

## Die Dauer der Lichtempfindung.

**Hinsichtlich der positiven Nachbilder ist auch die Litteratur in § 23 zu beachten.**


**cca. 150.**

5. PTOLEMAUS. *Optik.*

**cca. 1000.**

6. ALHAZEN. *Opticae thesaurus. Alhazeni Arabis libri VII edit. a F. Risnero.* Basil 1572. Lib. II. cap. 20. S. 36—37.

**1604.**

5817. KEPLER. *Ad vitellionem paralipomena quibus astronomiae pars optica* Frankfurt. S. 169—170.

**1615.**

5818. D'AGUILON. *Francisci Aguilonii opticorum libri sex.* Antwerpen.

**1639.**

5819. GASSENDI. *Vita Peireskii.* Paris. 1641. lib. V. Petri Gassendi operi Lyon. 1658. Bd. V. S. 317.

**1645.**

5820. MICHAELIUS. *De oculo seu de natura visus libellus.* Dordrecht. (Am I Paralipomena.)

**1663.**

5821. BOYLE. *Experiments and observations upon colours.* The philosophical R. Boyle. 2. edit. London. 1738. II. S. 4.

**1667.**

5822. H. FABRI. *Synopsis optica in qua, etc.* Propos. XVI. Coroll. IV. S. 21. I

**1674.**

5823. MILLIET DECHALES. *Cursus seu Mundus Mathematicus.* Bd. III. lib. II. LXIII. S. 448—450. Lyon. 2. Aufl.

**1685.**

5824. ZAHN. *Oculus artificialis teledioptricus, etc.* Herbipolis. Fundam. I. Synt cap. VI.

**1704.**

5825. J. NEWTON. *Optice.* Quaestio. XVI.

**1740.**

5826. MARIOTTE. *Traité des couleurs. II. part. 4. disc. Des apparences des coul procèdent des modifications internes des organes de la vision.* Oeures, L 1740. S. 318—320.

5827. SEGNER. *De raritate luminis.* Gottingae.

**1745.**

5828. BOERHAVE. *Praelectiones academicae, in proprias institutiones rei medicae.* He v. A. Haller. Turin. Bd. III. S. 147. § 541.

**1751.**

5829. HAMBERGER. *Physiologia medica.* Jena. § 993.

**1758.**

5830. DUFIEAU. *Manuel physique, ou manière courte et facile d'expliquer les phe de la nature.* Lyon. S 379—380.

5831. JURIN. *An essay upon distinct and indistinct vision.* In: Smith. A complete of optics. Cambridge. § 222.

**1759.**

5832. PORTERFIELD. *A treatise on the eye, the manner and phenomena of visi* bourg. II. S. 422.

**1760.**

5833. MUSSCHENBROEK. *Introductio ad philosophiam naturalem.* § 1820.

**1763.**

5834. SCOPOLI. *Entomologia Carniolica.*

**1765.**

5835. D'ARCY. *Sur la durée de la sensation de la vue.* Mém. de l'Acad. des Sc. S. 4

5836. B. FRANKLIN. *New experiments and observations.* London. 1769. S. 469 — phys. de Rozier. 1773. II. S. 383.

**1770.**

5837. MELVILLE. *Essays and observations physical and literary.* II. S. 12: Obser *on light and colours.*

**1776.**

5838. DE GODART. *Premier mémoire d'optique, ou explication d'une experi M. Franklin.* Journ. de phys. de Rozier. VII. S. 509.

**1778.**

5839. DICQUEMARE. *Remarques sur l'illusion des sens, et en particulier de la vue.* J de phys. de Rozier. XI. S. 403.

1781.

10. KRATZENSTEIN. *Afhandling om det menneskelige öies achromatiske beskaffenhed.* Nouv. Coll. des mém. de la Soc. roy. danoise des sc. Erster Theil. S. 131. Kopenhagen.

1786.

11. R. W. DARWIN. *New experiments on the ocular spectra of light and colours.* Philos. Transact. LXXVI. (2.) S. 313.

1795.

12. T. CAVALLO. *Naturlehre,* übers. v. Trommsdorf. III. S. 132.

1796.

13. VOIGT. *Beobachtungen und Versuche über farbiges Licht, Farben und ihre Mischung.* Gren's Journ. d. Phys. III. S. 235.

1800.

14. A. F. LUDICKE. *Beschreibung eines Schwungrades, die Verwandlung der Regenbogenfarben in Weifs darzustellen.* Gilb. Ann. V. S. 272.

1803.

15. P. PRÉVOST. *Remarques sur trois suites d'observations cyanométriques de H. B. de Saussure.* Journ. de Phys. de Rozier. LVII. S. 372 u. 382.

1806.

16. RITTER. *Physisch-chemische Abhandlungen.* Leipzig. III. S. 356.

1810.

17. A. F. LÜDICKE. *Versuche über die Mischung prismatischer Farben.* Gilb. Ann. XXXIV. 4.

18. — *Beschreibung eines Chromaskops.* Gilb. Ann. XXXVI.

19. — *Ueber das prismatische weifse Licht.* Gilb. Ann. XXXVI.

1816.

20. A. F. LÜDICKE. *Versuche mit dem Chromaskop.* Gilb. Ann. LII.

1819.

21. PARROT. *Entretiens sur la Physique.* Dorpat 1819—24. III. S. 235.

1825.

22. PURKINJE. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* Bd. II: *Neue Beiträge zur Kenntnifs des Sehens in subjectiver Hinsicht.* Berlin. S. 100.

23. ROGET. *Explanation of an optical deception in the appearance of the spokes of a wheel seen through vertical apertures.* Philos. Transact. I. 131. Pogg. Ann. V. S. 93.

1827.

24. E. G. FISCHER. *Lehrbuch der mechanischen Naturlehre.* Berlin. II. S. 267. (Farbenkreisel.)

25. PARIS. *Thaumatrop* Pogg. Ann. X. S. 480. — Edinb. Journ. of Sc. VII. S. 87.

26. J. PLATEAU. *Sur la durée des sensations que les couleurs produisent dans l'oeil.* Corresp. math. et phys. de Quetelet. III. S. 27.

27. C. WHEATSTONE *On the duplication and multiplication of objects, a new optical experiment.* Quarterly Journ. of sc. N. S. I. S. 344.

28. TH. YOUNG. *Optische Erscheinung bei einer schwingenden Saite.* Pogg. Ann. X. S. 470 bis 480.

1828.

29. J. PLATEAU. *Sur les sensations produites dans l'oeil par les différentes couleurs.* Corresp. math. et phys. de Quetelet. IV. S. 51.

1829.

30. J. PLATEAU. *Dissertation sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière sur l'organe de vue.* Liège.

31. — *Lettre relative à différentes expériences d'optique* Corresp. math. et phys. de Quetelet VI. S. 121.

32. LE FRANÇOIS. *Théorie mathématique des courbes d'intersection apparente de deux lignes qui tournent avec rapidité autour de deux points fixes.* Corresp math. et phys. de Quetelet. V. S. 120.

33. — *De la courbe produite par les intersections successives de deux droites pivotant autour de deux points fixes, de manière que la vitesse angulaire de l'une soit double de celle de l'autre.* Corresp. math. et phys de Quetelet V. S. 379.

1830.

34. J. PLATEAU. *Ueber einige Eigenschaften der vom Lichte auf das Gesichtsorgan hervorgebrachten Eindrucke.* Pogg. Ann. XX. S. 304—324 u. 543. (Verschiedene Dauer des Farbeneindrucks, Radspeichencurven.)

1831.

5865. A. A. *Optical deception upon the Liverpool and Manchester rail-road.* Jou the Roy. Inst. I. S. 600.

5866. Aime. *Phénomènes qui arrivent quand on met deux roues en mouvement l'une l'autre.* Bull. de Férussac, sc. math. XV. S. 103 u. 107.

5867. J. Plateau. *Lettre sur une illusion d'optique.* Ann. de chim. et de phys. de XLVIII. S. 281.

5868. M. Faraday. *On a peculiar class of optical deceptions.* Journ. of the Roy. I S. 205. — Pogg. Ann. XXII. S. 601. (Ein Zahnrad durch das andere ge Schraubenbewegung)

1833.

5869. J. Plateau. *Sur un nouveau genre d'illusion d'optique.* Corresp. math. et de l'observat. de Bruxelles. VII. S. 365.

5870. — *Des illusions sur lesquelles se fonde le petit appareil appelé récemment p kisticope.* Ann. de chim. et de phys. LIII. S. 304. — Pogg. Ann. XXXII. S

5871. Stampfer. *Die stroboskopischen Scheiben oder optische Zauberscheiben, deren T und wissensch. Anwendung.* Wien. — Pogg. Ann. XXIX. S. 189. XXXII. S. 63 Jahrb. d. polytechn. Inst. zu Wien. Bd. XVIII.

5872. Brsolt. *Farbenkreisel.* Pogg. Ann. XXXII. S. 656.

5873. Talbot *Proposed philosophical experiments.* Phil. Mag. (3.) III. S. 81.

5874. Wheatstone *Remarks on one of M. Talbot's proposed philosophical experi* Phil. Mag. (3.) III. S. 204.

5875. — *On the duration of luminous impressions on the organ of vision.* Athen 16. März.

1834.

5876. Horner. *On the properties of the Dädaleum, a new instrument of optical illu* Pogg. Ann. XXXII. S. 650. — Phil. Mag. (3.) IV. S. 36.

5877. Talbot. *Facts relating to optical science: A body in rapid motion, yet appar at rest.* Phil. Mag. (3.) IV. S. 113.

5878. — *Experiments on light; on Photometry.* Phil. Mag. (3.) V. S. 327.

1835.

5879. G. Th. Fechner. *Ueber einige Erscheinungen des Sinnengedächtnisses.* Fech Centralbl. Jahrg. I. S. 775.

5880. Snell. *Description of an instrument for exhibiting a certain optical decep* Silliman's Journ. (1.) XXVII. S. 310.

5881. Tomlinson. *On the theory of accidental and complementary colours, with additi experiments and observations.* Thomson's Rec. of gen. sc. II. S. 283.

5882. J. Plateau. *Sur un principe de photométrie.* Bull. de l'Acad. de Bruxelles. II. S — Pogg. Ann. XXXV. S. 457—464. (Messungen der Lichtstärke intermittire Lichts.)

5883. H. W. Dove. *Ueber Discontinuität des Leuchtens der Blitze.*

5884. Adams. *Optische Täuschung bei Betrachtung eines in Bewegung begriffenen Kör* Pogg. Ann. XXXIV. S. 384. — Phil. Mag. V. S. 373.

1836

5885. J. Plateau. *Notice sur l'anorthoskop.* Bull. de l'Acad. de Bruxelles. III. S. 7 Pogg. Ann. XXXVII. S. 464.

5886. — *Sur un nouveau moyen de déterminer la vitesse et les particularités d'un vement périodique très-rapide, tel que celui d'une corde sonore en vibration.* Bull. de l'Acad. de Belg. III. S. 364.

5887. Tomlinson. *On the curved figures produced by rapidly rotating discs.* Thoms Rec. of gen. sc. IV. S. 135.

1839.

5888. Serre. *Note sur la persistance des impressions sur la rétine.* Ann. d'Ocul. I. S.

5889. J. Plateau. *Mémoire sur l'irradiation.* Mém. de l'Acad. de Belg. XI. § 82 u

1842.

5890. Milward. *Some observations on the action of light on revolving discs.* Phil. M (3.) XX. S. 449.

1843.

5891. D. Brewster. *On the combination of prolonged direct luminous impressions on retina with their complementary impressions.* Phil. Mag. (3.) XXII. S. 434.

1845.

12. Ehrmann. *Optische Täuschung, welche sich an dem Abplattungsmodelle zeigt.* Pogg. Ann. LXIV. S. 326.

13. Chr. Doppler. Abhandl. der böhmischen Ges. der Wiss. V. Folge. Bd. 3.

1846.

14. Coates. *Ocular spectra.* Proc of the Americ. phil. Soc. IV. S. 239.

15. H. W. Dove. *Ueber die Methoden, aus Complementärfarben Weifs darzustellen, und über die Erscheinungen, welche polarisirtes Licht zeigt, dessen Polarisationsebene gedreht wird.* Berl. Monatsber. S. 70. Pogg Ann. LXXI. S. 97; Phil. Mag. XXX. S. 465; Inst. No. 712. S. 176; Arch. d. sc. phys. et nat. V. S. 276.

16. — *Ueber ein optisches Verfahren, die Umdrehungsgeschwindigkeit einer rotirenden Scheibe zu messen.* Berl. Monatsber. 1847. S. 77. Pogg. Ann. LXXI. S. 112; Inst. No. 712. S. 177.

1847.

17. H. W. Dove. *Beschreibung eines Stephanoskops.* Pogg. Ann. LXXI. S. 115.

18. Müller. *Anwendung der stroboskopischen Scheiben zur Versinnlichung der Wellenlehre.* Pogg. Ann. LXVII. S. 271.

1849.

19. J. Plateau. *Sur de nouvelles applications curieuses de la persistance des impressions de la rétine.* Bull de Bruxelles XVI. I. S. 424, 588. II. S. 30, 254. Inst. XVII. No. 818. S. 277. No. 830. S. 378. XVIII. No. 835. S. 5. — Phil. Mag. XXXVI. S. 434. 436; — Pogg. Ann. LXXVIII. S. 563; LXXIX. S. 269; LXXX. S. 150, 287; — Froriep's Notizen X. S. 221, 325

1850.

10. J. Tyndall. *Phenomena of water jet. (Beleuchtung durch electrische Funken.)* Phil. Mag. (4.) I. S. 105; Pogg. Ann. LXXXII. S. 294; Edinb Journ. L. S. 370; Inst. No. 924. S. 303.

11. H. Buff. *Einige Bemerkungen über die Erscheinung der Auflösung des flüssigen Strahls in Tropfen.* Liebig und Wöhler, LXXVIII. S. 162. (Beleuchtung durch intermittirendes Licht.)

12. Billet Sélis. *Sur les moyens d'observer la constitution des veines liquides.* Ann. d chim. et de phys. (3.) XXXI. S. 326; Pogg. Ann. LXXXIII. S. 597.

13. Secchi. *Sopra un nuovo fotometro destinato specialmente a misurare l'intensità relativa della luce delle stelle.* Atti dell' Accad. pontif. de'Nuovi Lincei, sessione I. anno. IV.

14. W. Swan. *On the gradual production of luminous impressions on the eye and other phaenomena of vision.* Sill. Journ. (2.) IX. S. 443; Proceed. Edinb. Roy. Soc. 1849. II. S. 230.

15. — *On the limits to the velocity of revolving lighthouse apparatus caused by the time required for the production of luminous impressions on the eye.* Report of the Brit. Assoc. 2. Theil. S. 191.

16. Streelly. *Attempt to explain the occasional distinct vision of rapidly revolving coloured sectors.* Sill. Journ. (2.) X. S. 401; Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 21.

17. Sinsteden. *Eine optische Stelle aus den Alten.* Pogg. Ann. LXXXIV. S. 448; Cosmos I. S. 116.

1851.

18. Loomis. *On the apparent motion of figures of certain colours.* Proc. of the Amer. Assoc. 1852. S. 78.

1852.

19. Moigno. *Stereo-fantascope, ou bioscope de M. J. Duboscq.* Cosmos. No. 30. S. 703.

0. Montigny. *Procédé pour rendre perceptibles et pour compter les vibrations d'une tige élastique.* Bull. de Bruxelles XIX. 1. S. 227—250; Inst. S. 216—220; 268. Pogg Ann. LXXXIX. S. 102—121

1. — *Phénomènes de persistance des impressions de la lumière sur la rétine.* Mém. de l'Acad de Belg. Bd. XXIV.

1853.

2. A. Poppe. *Das verbesserte Interferenzoskop.* Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 223—230. (Beobachtung von Flüssigkeitswellen durch stroboskopische Scheiben.)

3. F. Uchatius. *Apparat zur Darstellung beweglicher Bilder an der Wand.* Wien. Ber. X. S. 482—485

5914. W. Rollmann. *Ueber eine neue Anwendung der stroboskopischen Scheiben.* Ann. LXXXIX. S. 246—250.

5915. J. Plateau. *Sur le passage de Lucrèce où l'on a vu une déscription du fanta* Arch. d. sc. phys. XX. S. 300—302; Cosmos. I. S. 307—309. (Gegen Sinsted

**1854.**

5916. Emsmann. *Ueber die Dauer des Lichteindrucks.* Pogg. Ann. XCI. S. 611- Inst. S. 276.

**1855.**

5917. Czermak. *Physiologische Studien.* II. Wien. Akad. Ber. XV. S. 463.

5918. Lissajous. *Note sur un moyen nouveau de mettre en évidence le mouvement vib des corps.* Compt. Rend. XLI. S. 93—94; Inst. S. 245. Cosmos. VII. S. 81 Arch. d. sc. phys. XXX. S. 159—161.

5919. — *Note sur une méthode nouvelle applicable à l'étude des mouvements vibra* Compt. Rend. XLI. S. 814—817; Cosmos. VII. S. 608—609; Inst. S. 402—40

5920. Maxwell. *Experiments on colour as perceived by the eye, with remarks on c blindness.* Transact. of the Roy. Soc. of Edinb. XXI. (1.) S. 275.

5921. Schafhäutl. *Abbildung und Beschreibung des Universalvibrations-Photom* Abhandl. d. Münchener Akad. 1855. Bd. VII. S. 465.

**1856.**

5922. Lissajous. *Mémoire sur l'étude optique des mouvements vibratoires.* Compt. R XLIII. S. 973—976; XLIV. S. 727; XLV. S. 48—52; Inst. S. 411. 1857. S. Cosmos. IX. S. 626—629; XI. S. 80—83, 110—112, 431—432; Ann. d. chim. phys. 3. LI. S. 147—231.

**1858.**

5923. J. C. d'Almeida. *Nouvel appareil stéréoscopique.* Compt. Rend. XLVII. S. 61

5924. D. Brewster. *On the duration of luminous impressions of certain points of retina.* Athen. II. S. 521.

5925. [illegible]. *Recherches sur la persistance des impressions de la rétine.* Bull. de l'A Roy. de Belgique. (2.) T. III. No. 11.

**1860.**

5926. H. W. Dove. *Ueber einen besonderen Farbenkreisel des Herrn Lohmeier in Ham* Berl. Monatsber. S. 491. (Ist gleich dem Dädaleum.)

5927. Rothwell. *Trochoidoskop.* Dingler's Journ. CLVII. S. 181—184. Pract. mec Journ. April 4. (Farbenscheiben für Contrasterscheinungen benutzt.)

**1861.**

5928. Shaw. *Description of a new optical instrument called the Stereotrope.* Ph Mag. (4) XXII. S. 337.

5929. Swan. *On the gradual production of luminous impressions on the eye, part 2, a description of an instrument for producing isolated luminous impressions on eye of extremely short duration and for measuring their intensity.* Transact. of Roy. Soc. of Edinb. XXII. S. 33.

**1862.**

5930. F. Zöllner. *Ueber eine neue Art anorthoskopischer Zerrbilder.* Pogg. Ann. CX S. 477.

5931. J. J. Oppel. *Vorläufige Notiz über eine eigenthümliche Augentäuschung in Be auf Rotationserscheinungen.* Jahresber. d. Frankf. Vereins. 1861—1862. S. 56—57.

5932. D. Brewster. *On the compensation of impressions moving over the retina.* Rep Brit. Assoc. 1861. 2. S. 29.

**1863.**

5933. A. Fick. *Ueber den zeitlichen Verlauf der Erregung in der Netzhaut.* Reichert u du Bois Arch. S. 739—764.

5934. O. N. Rood. *On certain appearances produced by revolving discs.* Silliman's Jo (2) XXXV. S. 357.

**1864.**

5935. S. Exner. *Ueber den Nutzeffect intermittirender Netzhautreizungen.* Wien. B XLIX. (2) Jan.

5936. H. Aubert. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau S. 96—103.

5937. Montigny. *Note sur un nouveau scintillomètre.* Bull. de l'Acad. de Belgique. ( XVII. S. 260.

1865.

5938. A. Claudet. *On moving photographic figures illustrating some phenomena of vision connected with the combination of the stereoscope and the phenakistoscope, by means of photography.* Athen. S. 374. Rep. Brit. Assoc. 2. S. 9.

5939. Laing. *Combination von Stereoskop und Phänakistoskop.* Mechanic's Magazine. (2.) XIII. S. 190.

5940. Lucas. *Théorie mathématique de la vision des corps lumineux.* Les Mondes. IX. S. 546.

5941. E. Mach. *Ueber die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes auf die Netzhaut.* Wien. Akad. Ber. LII. (2.) S. 303.

5942. — *Bemerkungen über intermittierende Lichtreize.* Reichert und du Bois' Arch. S. 629—635.

1866.

5943. Laborde. *Dauer der Lichteindrücke* Pogg. Ann. Bd. 129. S. 660. — Compt. rend. T. 63. S. 87.

5944. J. Landerer *Illusion optique.* Mondes. XI. S. 9—10.

5945. E. Mach. *Ueber den physiologischen Effect räumlich vertheilter Lichtreize.* 2. u. 3. Abhandl. Wien. Akad. Ber. LIV. (2.) S. 131 u. 393.

1867.

5946. A. Claudet. *A new fact relating to binocular vision.* Phil. Mag. 4. sér. XXXIII. S. 549.

5947. Toepler und Radau. *Stroboscope.* Mondes. (2.) XV. S. 206—209.

5948. Pepper. *L'Eidoscope.* Les Mondes. (2.) XIII. S. 178.

5949. Weber. *Theorie des Anorthoscops und der anorthoscopischen Figuren.* Zeitschr. f. Mathem. u. Physik. XII. S. 133.

1868.

5950. Carpenter. *On the Zootrope and its antecedents.* The student and intellectual observer of sc., litt. a. art II. S. 24, 25 u. 26.

5951. S. Exner. *Ueber die zu einer Gesichtswahrnehmung nöthige Zeit.* Wien. Akad. Ber. Bd. 58. (2.) S. 601—632.

5952. Jeffries. *Remarks upon the principles of the Thaumatrope.* Transact. of the Amer. Ophthalm. Soc. 1869. S. 8.

5953. C. Langlois et Angiers. *Kinéscope.* Les Mondes. (2.) XVII. S. 56.

1869.

5954. F. Burckhardt. *Eine Relief-Erscheinung.* Pogg. Ann. Bd. 137. S. 471.

5955. C. Burckhardt und H. Faber. *Versuche über die zu einer Farbenempfindung erforderlichen kleinsten Zeiträume.* Pflüger's Arch. Bd. II. S. 121—127.

5956. C. Maxwell. *Zootrope perfectionné* Mondes. (2.) XX. S. 585—586.

5957. O J. Rupp. *Die Dauer der Nachempfindung auf den seitlichen Theilen der Netzhaut.* Königsberg. Dissert.

5958. Vierordt. *Das Pendel als Meßapparat der Dauer der Gesichtseindrücke.* Pflüger's Arch. Bd. II. S. 121—142.

1870.

5959. K. Exner. *Ueber die Curven des Anklingens und Abklingens der Lichtempfindungen.* Wien. Akad. Ber. Bd. 62. (Naturw. Kl.) S. 197.

5960. S. Exner. *Ueber die zu einer Gesichtswahrnehmung nöthige Zeit.* Carl's Repert. VI. S. 242--270.

5961. — *Bemerkungen über intermittirende Netzhautreizungen.* Pflüger's Arch. III. S. 214.

5962. Hofmann. *Optische Erscheinung auf fortdauernden Lichteindruck gegründet, und Vorführung von Burckhardt's Reliieferscheinungen.* Zeitschr. f. Naturwiss. II. (2.) S. 205.

5963. J. Landerer. *Eine optische Täuschung.* Zeitschr. f. Naturwissensch. XXXV. S. 214.

1871.

5964. Baxt. *Ueber die Zeit, welche nöthig ist, damit ein Gesichtseindruck zum Bewußtsein kommt und über die Größe (Extension) der bewußten Wahrnehmung bei einem Gesichtseindruck von gegebener Dauer* Pflüger's Arch. f. Physiol. IV. S. 325.

5965. Kurz, A. *Ueber optische Erscheinungen, welche durch zwei rasch sich drehende Körper hervorgerufen werden.* Pogg. Ann. Ergzb. V. 653—655.

5966. R. Pictet. *Mémoire sur la vision binoculaire.* Biblioth. univ. Arch. des Sc. nouv. période. XI. S. 105 u. 114.

5994. J. Plateau. *Sur une lois de la persistance des impressions dans l'oeil.* Bull. de l'Acad. roy, de Belg. (2. sér.) T. XLVI. No. 9 u. 10. S. 334.

5995. Reynaud. *Le Praxinoscope.* La Nature. 1. Févr. 1879.

1879.

5996. A. Kleiner. *Physiologisch-optische Beobachtungen. Ueber Talbot's Gesetz.* Pflüger's Archiv. XVIII. S. 542—573.

5997. Richet und Breguet. *Influence de la durée et de l'intensité sur la perception lumineuse.* Compt. Rend. Bd. 88. S. 239—240. — Arch. génér. de méd. April. — Gaz. hebdom. No. 7.

5998. Tobin. *An new illustration of persistance of vision.* Journ. of the Franklin Institute. LXXVIII. (3. sér.) S. 330.

1880.

5999. E. Chevreul. *Note relative à un mémoire sur la vision des couleurs matérielles en mouvement de rotation.* Compt. Rend. Bd. 91. S. 870.

6000. E. Dreher. *Studien am Lebensrad betreffs eines richtigen Verständnisses der Sinneswahrnehmungen.* Die Natur. No. 5. S. 53—55.

6001. Ott und Prendergast. *The rapidity of perception of colored lights.* Journ. of nerv. and ment. dis. (N. S.) V. S. 258.

6002. Richet und Breguet. *De l'influence de la durée de l'intensité de la lumière sur la perception lumineuse* Arch. de physiol. (2.) VII. S. 689—696.

1881.

6003. Bull. *A new method of examining and numerically expressing the colour perception.* Transact. of the Intern. med. Cong. London. III. S. 49.

6004. Kuhnt. *Empfehlung des Rothe'schen Kreisels.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 93.

6005. E Lommel. *Einfaches Verfahren, die stroboscopischen Erscheinungen für viele gleichzeitig sichtbar zu machen.* Carl's Repert XVII. 7 S. 463.

6006. Rayleigh. *Experiments on colour.* Nature XXV. S. 64 u. 66.

6007. R. Rothe. *Farbenkreisel nebst Musterkarte der farbigen Papierscheiben zu Gleichungen.* Prag. — Ann. d'Oculist. Bd. 85. S 181.

1882.

6008. F. Boas. *Ein Beweis des Talbot'schen Satzes und Bemerkungen zu einigen aus demselben gezogenen Folgerungen.* Wiedem. Annal. XVI. S. 359—362

6009. A. Charpentier. *Sur la durée de la perception lumineuse dans la vision directe et dans la vision indirecte.* Compt. Rend. Bd. 95. S 96. Franc. méd. II S. 112.

6010. E Chevreul. *Mémoire sur la vision des couleurs matérielles en mouvement de rotation et sur les vitesses respectives évaluées en chiffres, de cercles dont une moitie diamétrale est colorée et l'autre moitie est blanche; vitesses correspondant à trois periodes de leur mouvement à partir de l'extrême vitesse jusqu'au repos.* Compt. Rend. Bd. 95. S. 1086.

6011. Wead. *On Combining Colour-Disks.* Nature. XXV S. 266

6012. — *Le Phénakistoscope de projection.* La Nature X. No. 473. S. 64.

1883.

6013. A. M. Bloch. *Sur la vitesse des transmissions visuelles, auditives et tactiles.* Compt. Rend. Bd. 97. S. 1221.

6014. E. Chevreul. *Sur la vision des couleurs materielles en mouvement de rotation et sur les vitesses respectives, evaluees en chiffres de cercles dont une moitie diametrale est coloree et l'autre moitie est blanche; vitesses correspondant à trois periodes de leur mouvement à partir de l'extreme vitesse jusqu'au repos.* Compt. Rend. Bd. 96. S. 18–29.

1884.

6015. A. M. Bloch. *Experiences sur la vitesse relative des transmissions visuelles, auditives, tactiles.* Journ. de l'anat. et de la physiol. XX. 1.

6016. Beccola und B. Uffreduzzi. *Wahrnehmungszeit der Farben.* Riv. di filos. scient. IV. No. 1.

6017. A. Charpentier. *Sur l'inertie d'appareil retinien et ses variations suivant la couleur excitatrice.* Compt Rend. Bd. 99 S. 1061

6018. A. Cornu. *Experiences d'optique relatives à l'achromatisme des phenomenes d'interference et à la persistance des impressions sur la retine.* Assoc Franc. Blois. S. 162.

0. A. Charpentier. *Influence de la surface sur la sensibilité lumineuse dans le cas des lumières in stantanées.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. V. S. 536.

1. — *Durée de l'excitation latente de l'appareil visuel.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. S. 305.

2. — *La persistance des images rétiniennes au centre et à la péripherie de la rétine.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. S. 374.

3. — *Sur l'intensité comparée des lumières brèves et de lumières continues.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. S. 493.

1889.

4. L. Bellarminow. *Ueber intermittirende Netzhautreizung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. 1. S. 25—49. Westn. ophthalm. VI. 1. S. 1. Tagebl. d. III. Kongresses d. russ. Aerzte. S. 290.

5. L. Couteaux. *Une conséquence de l'intermittence des sensations.* Rev. scient. XLIII. S. 316.

6. G. N. Stewart. *Ist das Talbot'sche Gesetz gültig für sehr schnell intermittirendes Licht?* Proceed. of the Roy. Sc. of Edinburgh. XV. 127. S. 441.

1890.

7. E. Canestrini. *Esperienze di ottica fisiologica.* Atti della Società Veneto Trentina de Scienze Naturali. Vol. XI.

8. A. Charpentier. *Recherches sur la persistance des impressions rétiniennes et sur les excitations lumineuses de courte durée.* Arch. d'Ophthalm. X. S. 108—135, 212—231, 340—356, 406—430. 522—537.

9. — *Méthode directe pour l'étude de la persistance des impressions lumineuses.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 25. April. S. 198.

0. — *Interférence rétinienne.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 16. Mai. S. 263.

1891.

1. E. G. Baader. *Ueber die Empfindlichkeit des Auges fur Lichtwechsel.* Diss. Freiburg. 38 S.

2. Brown-Séquard. *Remarques sur les recherches de M. Charpentier sur l'intensité et sur la persistance des impressions lumineuses brèves.* Arch. de Physiol. XXIII. No. 8.

3. A. Charpentier. *Démonstration expérimentale d'un temps perdu dans l'excitation des centres visuels.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. S. 528—530.

4. — *Sur la persistance totale des impressions lumineuses, distinguée de leur persistance apparente.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. S. 600—601.

5. — *Dissociation des impressions lumineuses successives par des zones différentes de la rétine.* Arch. de Physiol. (5.) III. 4. S. 674—687.

6. — *Relation entre les oscillations rétiniennes et certains phénomènes entoptiques.* Compt. Rend. CXIII. No. 4. S. 217—219.

7. — *Résultats d'expériences sur les interférences rétiniennes* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 19. S. 434—437.

8. — *Méthode pour l'observation des interférences rétiniennes.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 18. S. 388—392.

9. A. Kurz. *Stroboscopische Demonstrationen.* Exner's Repert. Bd. 27. S. 569—581.

1892

0. E. Faravelli. *Il tempo quale coefficiente da introdursi nella determinazione del visus.* (Nota preventiva.) Revista gen. ital. di Clinica med. anno IV. No. 12—13

1. Cl. Royer. *Recherches d'optique physiologique et physique.* Bruxelles. 42 S. Monnon.

1893.

2. K. Marbe. *Zur Lehre von den Gesichtsempfindungen, welche aus successiven Reizen resultiren.* Diss. Bonn. — Wundt's Philos. Stud. IX. S. 384—399.

3. A. Charpentier. *Démonstration directe de la différence de temps perdu suivant les couleurs.* Arch. de Physiol. (5.) V. 3. S. 568—571.

1894.

4. K. Marbe. *Vorrichtung zur successiven Variirung der Sectoren rotirender Scheiben und zur Ablesung der Sectorenverhaltnisse wahrend der Rotation.* Centralbl. f. Physiol. Heft 25. S. 1—4.

## § 23.

# Die Veränderungen der Reizbarkeit.

**[illegible] der Adaptation ist auch die Litteratur von § 21 1, hinsichtlich der positiven N die Litteratur von § 22 zu beachten.**

**1100.**

[illegible] [illegible] *[illegible]*. Basel. 1572. lib. III, cap. V.

**1598.**

[illegible] [illegible] *De refractione optices parte libri novem.* Neapel. lib. III.

**1613.**

[illegible] [illegible] *Francisci Aguilonii opticorum libri sex.* Antwerpen. lib. I, S. [illegible]

**1634.**

[illegible] [illegible] S. 175. 296.

**1644.**

[illegible] [illegible] *Dioptrice et Meteora.* Amsterdam. Kap. 6. § IV.

**1646.**

[illegible] [illegible] *Ars magna lucis et umbrae.* S. 162.

**1668.**

[illegible] [illegible] S. 318.

**1674.**

[illegible] [illegible] *Cursus seu Mundus Mathematicus.* Lyon III. lib. 2. pro

**1689.**

[illegible] [illegible] *Dissertation sur les différents accidents de la vue.* 1re pa [illegible] de l'Acad. des sc. de Paris IX (veröffentl. 1730) (bei PORTERFIELD [illegible]

[illegible] [illegible] *Experiments on ocular spectra produced by the action of the* [illegible] Edinb. Journ. of Sc. IV. S. 75.

**1691.**

[illegible] [illegible] *Brief vom 30. Juni 1691.* Mitgetheilt in Newton's Leben von [illegible] übersetzt von Goldberg. Leipzig. 1833. S. 263—265.

**1699.**

[illegible] [illegible] *[illegible] sur la lumière et les couleurs, etc.* Mém. de l'[illegible] de Paris.

**1738.**

[illegible] [illegible] *Essay on distinct and indistinct vision.* S. 176. In Smith's Optic [illegible]

**1743.**

[illegible] [illegible] *Dissertation sur les couleurs accidentelles.* Mém. de Paris. S. 14[illegible]

**1755.**

[illegible] [illegible] *De maculis et [illegible] a solis aspectu in oculo residuis.* No[illegible] [illegible] I. S. 188. 1757.

[illegible] [illegible] *[illegible] physique expérimentale.* V. S. 509 u. 510.

**1761.**

[illegible] [illegible] *[illegible] accidentalibus.* Viennae.

**1765.**

[illegible] [illegible] *[illegible] von den zufälligen Farben.* Wien; übers. im Jou[illegible] [illegible] XXVI. S. 175 und 273.

[illegible] [illegible] *[illegible]* Nov. Com. Acad. Petr. X. S. 282. Jo[illegible] XXVI. S. 2[illegible].

**1769.**

[illegible] [illegible] *[illegible] and observations.* London. S. 469. — Journ. d[illegible]

1775.

5. MONGEZ. *Lettre sur une dégradation des couleurs.* Journ. de phys. de Rozier. VI. S. 481.
6. ROZIER. Journ. de phys. de Rozier. VI. S. 486.
7. SCHERFFER. *Institutionum opticarum partes quatuor.* Wien. Th. I. cap. II. art III.

1776.

8 DE GODART. *Premier mémoire d'optique, ou explication d'une expérience de M. Franklin.* Journ. de phys. de Rozier. VII. S. 509.
9 — *Deuxième mémoire d'optique, ou recherches sur les couleurs accidentelles.* Journ. de phys. de Rozier. VIII. S. 1.
0. — *Troisième mémoire d'optique, ou suite de celui sur les couleurs accidentelles.* Journ. de phys. de Rozier. VIII. S. 269.

1781.

1. KRATZENSTEIN. *Afhandling om det menneskelige öies achromatiske beskaffenhed.* Nouv. collect. des mém. de la Soc. roy. Danoise d. sc. I. S. 131. Kopenhagen.

1786.

2. E. DARWIN. *On the ocular spectra of light and colours.* Phil. Trans. Vol. 76. S. 313.

1787.

3. *Dissertation sur les couleurs accidentelles.* Journ. de phys. de Rozier. XXX. S. 407.

1792.

4. WELLS. *An essay upon single vision with two eyes: together with experiments and observations on several other subjects in optics.* London.

1794.

5. E DARWIN. *Zoonomia or the law of organic life.* London. — Deutsche Uebersetzung von Brandis. Hannover 1795. II. S. 387.

1796.

6. VOIGT. *Beobachtungen und Versuche über farbiges Licht, Farben und ihre Mischung.* Gren's Journ. d. Phys. III. S. 235.

1798.

7. COMPARETTI. *Observationes dioptricae et anatomicae de coloribus apparentibus.* Patav.

1802.

8 TROXLER. *Ueber das Verschwinden gegebener Gegenstände innerhalb unseres Gesichtskreises.* Himly und Schmidt Ophthalmolog. Bibliothek. Bd. I, St. 2, S. 1—20, Bd. II, St. 2, S. 40.

1803.

HIMLY. *Einiges über die Polarität der Farben.* Ophthalm. Biblioth. I. (2.) S. 1.

1804.

PRIEUR DE LA COTE D'OR *Bemerkungen über die Farben und einige besondere Erscheinungen derselben* Ann. d. Chim LIV. S 1. — Gilb. Ann. XXXI. S. 315.

TROXLER. *Präliminarien zur physiologischen Optik.* Ophthalm. Biblioth v. Himly. II. (2.) S. 54 u. (3.) S. 1.

1810.

J. W. v. GOETHE. *Zur Farbenlehre.* I. S. 13. 20

1816.

*Ueber physiologe Gesichts- und Farbenerscheinungen* Schweigger's Arch. Bd. 16. S. 121—157.

1817.

SCHULZ. *Ueber physiologische Farbenerscheinungen, insbesondere das phosphorische Augenlicht als Quelle derselben betrachtet.* In Goethe für Naturwiss. II. S. 20. 38.

1819.

PURKINJE. *Beiträge zur Physiologie der Sinne.* I S. 92.

1826.

J. MÜLLER. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes.* Coblenz S. 401.

1830.

LEHOT. *Nouvelle explication des couleurs accidentelles.* Ann. des sciences d'observ. par Saigey et Raspail. III. 3. S 329. Froriep's Notizen XXVIII. S. 177; Fechner's Repertorium 1832. S. 229

3. GERGONNE in seinem Journ. de Mathem. XXI. S. 291.

1833.

6119. D. Brewster. Philos. Mag. II. S. 89; IV. S. 354. Pogg. Ann. XXIX.

6120. J. Plateau. *Sur le phénomène des couleurs accidentelles.* Ann. de chim. et LIII. S. 386. LVIII. S. 337; Pogg. Ann. XXXII. S. 543.

1834.

6121. J. Plateau. *Essai d'une Théorie génér. comprenant l'ensemble des apparence qui succèdent à la contemplation des objets colorés et de celles, qui accompa contemplation, c'est-à-dire la persistance des impressions de la rétine, le accidentelles, l'irradiation, les effets de la juxtaposition des couleurs, l colorées.* Bruxelles. Mém. de l'Acad. de Belgique. VIII.

6122. D. Brewster. *On the connexion of the physical sciences, by Mrs. Som* Edinb. Review. LIX. S. 154 u. 160.

6123. — *On the influence of successive impulses of light upon the retina.* Phi (3.) IV. S. 241—245.

6124. — *Account of two experiments on accidental colours, with observation theory.* Philos. Mag. (3.) IV. S. 353—354.

6125. Gherard. *De visione, quae duobus simul oculis, vel alter utro tantum e item de nonnullis prästantibus phänominis visionis quae fit ope vitrorum colo deque coloribus quos vocant accidentales, eorumque theoria.* Novi commenta Scient. Instituti Bononiensis. I. S. 349 u. 362.

6126. J. Plateau. *Sur un phénomène de couleurs accidentelles.* Corresp. phys. de Quetelet. VIII. S. 511.

1835.

6127. G. Th. Fechner. *Ueber einige Erscheinungen des Sinnengedächtnisses.* Centralblatt. Jahrg. I. S. 775.

1836.

6128. Osann. *Ueber Ergänzungsfarben.* Pogg. Ann. XXXVII. S. 287.

6129. J. Plateau. *Berichtigung, veranlaſst durch einen Aufsatz des Herrn Prof.* Pogg. Ann. XXXVIII. S. 626.

1837.

6130. Osann. *Einige nachträgliche Bemerkungen zu meinem Aufsatz über Erg farben.* Pogg. Ann. XLII. S. 72.

6131. J. Plateau. *Réponse aux objections publiées contre une théorie géné apparences visuelles dues à la contemplation des objects colorés.* Corresp. phys. de Quetelet. IX. S. 97.

1838.

6132. G. Th. Fechner. *Ueber die subjectiven Complementärfarben.* Pogg. Ann S. 221—245; 513—530.

6133. — *Scheibe zur Ergänzung subjectiver Complementärfarben.* Pogg. Ann S. 227.

1839.

6134. D. Brewster. *Observations on Prof. Plateau's defence of his theory of ac colours.* Phil. Mag. XV. S. 435.

1840.

6135. G. Th. Fechner. *Ueber die subjectiven Nachbilder und Nebenbilder.* Pog L. S. 193—221, 427—465.

6136. Splittgerber. *Methode, subjective und complementäre Farbenerscheinu erregen.* Pogg. Ann. IL. S. 587.

6137. D. Brewster. Phil. Mag. XXIII. S. 354. Pogg. Ann. LXI. S. 138. (Comb der verlöschenden Eindrücke mit complementären.)

6138. Tourtual. *Bericht über die Leistungen im Gebiete der Physiologie der S Besonderen des Gesichtssinnes.* Müller's Arch. S. 1.

1841.

6139. Knochenhauer. *Ueber Blendungsbilder.* Pogg. Ann. LIII. S. 346.

1842.

6140. Pickford. *Beiträge zur Kenntniſs des Sehens in subjectiver Hinsicht.* Hei

6141. Fischer. *Ueber die chromatischen Erscheinungen der Blendungsbilder.* V d. Naturforsch.-Ges. in Basel. V. S. 240. 1843.

1844.

6142. Transon. Institut No. 556. S. 284.

1845.

3 WHEATSTONE. *Sur un effet singulier de juxtaposition de certaines couleurs dans des circonstances particulières.* Inst. No. 582. S. 75.

1846.

4. COATES. *Ocular spectra.* Proc. of the Americ. Philos. Soc. IV. S. 239.

1847.

5. H. W. DOVE. *Ueber subjective Farbenerscheinungen bei einem Farbenkreisel, und eine darauf gegründete Methode, seine Umdrehungsgeschwindigkeit zu bestimmen.* Pogg. Ann. LXXI. S. 112.

1848.

6. H. W. DOVE. *Ueber Scheiben zur Darstellung subjectiver Farben.* Pogg. Ann. LXXV. S. 526.

7. GRÜEL. *Ueber einen Apparat für subjective Farbenerscheinungen.* Pogg. Ann. LXXV. S. 524.

8. H. TAYLOR. *On the apparent motion of the figures in certain patterns of blue and red worsted.* Phil. Mag. XXXIII. S. 345; Froriep's Notizen IX. S. 33; Arch. d. sc. phys. et nat. X. S 304.

1849.

9. J. PLATEAU. *Quatrième note sur de nouvelles applications curieuses de la persistance des impressions sur la rétine.* Bull. de l'Acad. de Belg. XVI. (2.) S. 254.

1850.

0. J. M. SEGUIN. *Sur les couleurs accidentelles.* Compt. Rend. XXXIII. S. 642. XXXIV. S 767—768. XXXV. S. 476. — Phil. Mag. (4.) III. S. 77. — Sillim. Journ. (2.) XIII. S. 441.

1. SINSTEDEN. *Ueber einen neuen Kreisel zur Darstellung subjectiver Complementarfarben und eine eigenthümliche Erscheinung, welche die Orangefarbe dabei zeigt.* Pogg. Ann. LXXXIV S. 45.

2. E. BRÜCKE. *Untersuchungen uber subjective Farben.* Pogg. Ann. LXXXIV. S. 418. Wien. Denkschr. III. S. 95; Arch. d. sc. phys. et nat. XIX. S. 122.

3. MINICH. *Sui colori accidentali.* Atti dell'Istituto Veneto di sc. lettere ed arti

1852.

4. W. R. GROVE. *On a mode of reviving dormant impressions on the retina.* Phil. Mag. (4.) III. S. 435—436; Inst. S. 251—252. Arch. d. sc. phys. et nat. XX. S. 227—228; Cosmos I. S. 237—238.

5. H. W. DOVE. *Zur Erklarung der flatternden Herzen.* Pogg. Ann. LXXXV. S. 402.

1854.

6. J. J. OPPEL. *Ueber das Phänomen der flatternden Herzen.* Jahresber. d. Frankfurter Vereins 1853—1854. S. 50—52; Hallesche Zeitschr. für Naturwissenschaft. V. S. 319.

7. W. SCORESBY. *An inquiry into some of the circumstances and principles which regulate the production of pictures on the retina of the human eye with their measure and endurance, their colours and changes.* Phil. Mag. (4.) VII. S. 218—221; VIII. S. 544. Inst S. 154—156; Proc. of Roy. Soc VI. S. 380—383. VII. S. 117—122. Athen. S. 1272.

8. J. M. SEGUIN. *Recherches sur les couleurs accidentelles.* Ann. de Chim. et de Phys. (3.) XLI. S. 413—431.

1855.

9. S. MARIANINI. *Sur une manière de voir facilement les couleurs accidentelles.* Arch. d. sc. phys. XXX. S. 325; Cimento. I S. 165.

1856.

0. VAN BREDA. *Eenige waarnemingen over de zoogenaamde nabeelden.* Acad. van Wetenschap. te Amsterdam. afdeel. Natuurk. V. S. 342.

1. J. M. SEGUIN. *Couleurs accidentelles.* Cosmos IX. S. 39.

2. VIERORDT. Arch. f. physiol. Heilkde. Heft 2.

1857.

3. MELSENS. *Recherches sur la persistance des impressions de la rétine.* Bull. de Bruxelles. (2.) III. 214—252. Cl. d. sc. S. 735—777.

1858.

4 H. HELMHOLTZ. *Ueber Nachbilder.* Ber. über die 34. Vers. deutscher Naturf. in Carlsruhe. S. 225—226.

5. — *Ueber die subjectiven Nachbilder im Auge.* Niederrhein. Sitzgs.-Ber. S. 98—100.

6166. H. AUBERT. *Ueber das Verhalten der Nachbilder auf den peripherische der Netzhaut.* Moleschott, Unters. z. Naturlehre IV. S. 215—239.
6167. J. M. SÉGUIN. *Note sur les couleurs accidentelles.* Compt. Rend. XLVII. S. 1

**1859.**

6168. H. AUBERT. *Ueber die durch den electrischen Funken erzeugten Nachbilde* schott, Unters. z. Naturlehre. V. S. 279—314.

**1861.**

6169. J. SMITH. *On the chromascope.* Rep. of Brit. Assoc. 1860. 2. S. 65—66. 1861.

**1862.**

6170. H. AUBERT. *Untersuchungen über die Sinnesthätigkeiten der Netzhaut.* Po CXV. S. 87—116. CXVI. S. 249—278.
6171. E. ROSE. *Presentations of colour produced under novel conditions.* Rep. of Bri 1861. 2. S. 33. (Aus intermitttirendem Weiss und Schwarz.)

**1863.**

6172. M. BOKOWA. *Ein Verfahren, künstliche Farbenblindheit hervorzubringen.* f. rat Med. (3.) XVII. S. 161.

**1864.**

6173. H. AUBERT. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau. S. 347—386.

**1865.**

6174. E. BRÜCKE. *Ueber Ergänzungsfarben und Contrastfarben.* Wien. Sitzs.-Ber.
6175. LADAME. *Sur les couleurs accidentelles.* Bull. de la Soc. des Sc. nat. de Ne VII. 1864—67. S. 84.
6176. E. MACH. *Ueber die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes Netzhaut.* I. Wien. Ber. Bd. 52. S. 308—322.
6177. F. BURCKHARDT. *Die Contrastfarben im Nachbilde.* Verh. d. naturf. Ges. i IV. S. 263—285.

**1866.**

6178. F. BURCKHARDT. *Die Contrastfarben im Nachbilde.* Pogg. Ann. Bd. 129. bis 548.
6179. LABORDE. *Impressions persistantes de la lumière; comment elles s'accomplis les yeux.* Mondes. XI. S. 576—582. Pogg. Ann. Bd. 129. S. 660. Compt Bd. 63. S. 87.
6180. E. MACH. *Ueber die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes Netzhaut.* II. Wien. Ber. Bd. 54. (2.) S. 131—134. — III. Wien. Ber. Bd S. 393.
6181. C. F. MÜLLER. *Versuche über den Verlauf der Netzhautermüdung.* Inau Zürich.

**1867.**

6182. E. CHEVREUL. *Observations à propos d'une communication de M. Dechar divers phénomènes de vision.* Compt. Rend. LXV. S. 612—613.
6183. CZERNY. *Ueber Blendung der Netzhaut durch Sonnenlicht.* Sitzgs.-Ber. d Acad. d. Wiss. II. Abth. Oct-Heft. B. LVI.
6184. H.W. DOVE. *Optische Notizen. I. Vereinigung prismatischer Farben zu Weiß; II subjektive Farben durch elektrische Beleuchtung.* Pogg. Ann. Bd. 131. S. 651
6185. TH. W. ENGELMANN. *Ueber Scheinbewegung in Nachbildern.* Jenaische Zeit Med. u. Naturwiss. Bd. III. S. 443.
6186. — *Over schijnbewegingen bij nabeelden.* Ned. Arch. III. S. 114.
8187. A. ROLLET. *Zur Lehre von den Contrastfarben und dem Abklingen der Farben.* Ber. Bd. 55. 2. S. 424—432.

**1868.**

6188. CZERNY. *Ueber Blendung der Netzhaut durch Sonnenlicht.* Wien. Ber. I S. 409—428.
6189. E. MACH. *Ueber die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes Netzhaut.* IV. Wien. Ber. Bd. 57. (2.) S. 11—19.
6190. MONOYER. *Idée d'une nouvelle théorie entièrement physique des images con* Bull. de la Soc. des Sc. nat. de Strassbourg. I. S. 58 u. 65.

**1870.**

6191. DVOŘÁK. *Versuche über die Nachbilder von Reizveränderungen.* Wien. Ac Bd. 61. Abth. 2. S. 257.

2. C. Marangoni. *Nuovo metodo di sviluppare nell' occhio le immagini accidentali abbaglianti.* Nuov. Cim. (2.) III. S. 132—147. Rendic. Lomb. (2.) III. 1. S. 189—196.
3. J. M. Séguin. *Mémoire sur les images accidentelles des objets blancs.* Compt. Rend. Bd. 70. S. 322—323.
4. Tait *Note on a singular property of the retina.* Edinb. Proc. 1869/70. VII. S. 605—607.

1871.

5. E. Adamück und M. Woinow. *Beiträge zur Lehre von den negativen Nachbildern.* Arch. f. Ophthalm. XVII. 1. S. 135.
6. J. K. Becker. *Zur Lehre von den subjectiven Farbenerscheinungen.* Pogg. Ann. Supplem. Bd. V. S. 305.
7. Dubrunfaut. *Vision.* Inst. S. 102.

1872.

8. A. S. Davis. *On recurrent Vision.* Phil. Mag. (4.) XLIV. S. 526.
9. Dvořák. *Über Analoga der persönlichen Differenz zwischen beiden Augen und den Netzhautstellen desselben Auges.* Wien. Ber. 8. März 1872.
0. S. Exner. *Ueber den Erregungsvorgang im Sehnervenapparate.* Wien. Sitzungsber. LXV. (3.) S. 59.
1. E. Hering. *Zur Lehre vom Lichtsinn. I. Ueber successive Lichtinduction.* Wien. Ber. (3.) LXVI. S. 5—24.
2. Marangoni. *Neue Methode, die Blendungsbilder im Auge zu entwickeln.* Pogg. Ann. Bd. 146. S. 115.
3. C. A. Young. *Note on Recurrent Vision.* Nature. V. S. 512. Sill. Journal (3.) III. S. 262. Naturf. V. S. 200. Phil. Mag. (4.) XLIII. S. 343.

1873.

4. Delboeuf. *Étude psychophysique. Recherches théoriques et expérimentales sur la mesure des sensations, et spécialement des sensations de lumière et de fatigue.* Acad. de Belg. Bd. XXIII.
5. E. Hering. *Zur Lehre vom Lichtsinn. III. Ueber simultane Lichtinduction und über successiven Contrast.* Wien. Ber. (3.) LXVIII. S 229—244.
6. Lamey. Mondes. (2.) XXXII. S. 442..
7. Ragona Scina. *Su taluni fenomeni di colorazione soggettiva.* Mem. dell'Acad. di Modena XIV. S. 7.

1874.

8. W. Schön. *Einfluss der Ermüdung auf die Farbenempfindung.* Arch. f. Ophthalm. XX (2.) S. 273.

1875.

9. S. Exner. *Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Processe. IV. Abh. Die Empfindungszonen des Sehnervenapparates.* Pflüger's Arch. XI. S. 581—602.
0. J. Plateau. *Sur les couleurs accidentelles ou subjectives.* Bull. de l'Acad. roy. de Belgique. 2me Ser. T. 39. No. 1. S. 100—119. 1. Janvier.
1. Reymond. *Stato torpido e hemeralopico della Retina.* Ann. d'Ottalm. IV. S. 40 bis 112.
2. A. Riccò. *Sulla successione e permistenza delle sensazioni dei colori.* Atti della R. Acad. di sc. in Modena XVI.
3. H. Walb. *Ueber periodische Ermüdung des Auges.* Klin. Monatsbl. für Augenheilkde. XIII. S. 195—199.

1876.

4. Donhoff. *Beiträge zur Physiologie. IV. Ueber oscillirende Gesichtsempfindungen.* Arch. f. anat. Physiol. u. wiss. Med. 4.) S. 459.
5. H. Hartshorne. *On some disputed points in physiological optics.* Proc. of the Amer. philos. Soc. XVI. S. 218 u. 221.
6. Kleiner. *Interessante physiologisch-optische Beobachtungen.* Gäa XII. S. 378. — Vierteljahrsschr. d. naturf. Ges. Zürich. XX. S. 488.
7. H. Morton. *Ein neues Chromatrop.* Pogg. Ann. Bd. 157. S. 150—155.
8. J. Plateau. *Sur les couleurs accidentelles ou subjectives.* Bull. de l'acad. roy. de Belgique. 2. ser. XLII No. 9, 10 und 11.
9. Riccò. *Esperienze cromostroboscopiche* Annuario della Soc. dei Naturalisti in Modena. X fasc. 1.

5914. W. Rollmann. *Ueber eine neue Anwendung der stroboskopischen Scheiben.* I Ann. LXXXIX. S. 246—250.
5915. J. Plateau. *Sur le passage de Lucrèce où l'on a vu une déscription du fanta* Arch. d. sc. phys. XX. S. 300—302; Cosmos. I. S. 307—309. (Gegen Sinstede

**1854.**

5916. Emsmann. *Ueber die Dauer des Lichteindrucks.* Pogg. Ann. XCI. S. 611- Inst. S. 276.

**1855.**

5917. Czermak. *Physiologische Studien.* II. Wien. Akad. Ber. XV. S. 463.
5918. Lissajous. *Note sur un moyen nouveau de mettre en évidence le mouvement vib des corps.* Compt. Rend. XLI. S. 93—94; Inst. S. 245. Cosmos. VII. S. 81 Arch. d. sc. phys. XXX. S. 159—161.
5919. — *Note sur une méthode nouvelle applicable à l'étude des mouvements vibra* Compt. Rend. XLI. S. 814—817; Cosmos. VII. S. 608—609; Inst. S. 402—40
5920. Maxwell. *Experiments on colour as perceived by the eye, with remarks on blindness.* Transact. of the Roy. Soc. of Edinb. XXI. (1.) S. 275.
5921. Schafhäutl. *Abbildung und Beschreibung des Universalvibrations - Photom* Abhandl. d. Münchener Akad. 1855. Bd. VII. S. 465.

**1856.**

5922. Lissajous. *Mémoire sur l'étude optique des mouvements vibratoires.* Compt. XLIII. S. 973—976; XLIV. S. 727; XLV. S. 48—52; Inst. S. 411. 1857. S Cosmos. IX. S. 626—629; XI. S. 80—83, 110—112, 431—432; Ann. d. chim. phys. (3.) LI. S. 147—231.

**1858.**

5923. J. C. d'Almeida. *Nouvel appareil stéréoscopique.* Compt. Rend. XLVII. S. 6
5924. D. Brewster. *On the duration of luminous impressions of certain points o retina.* Athen. II. S. 521.
5925. Melsens. *Recherches sur la persistance des impressions de la rétine.* Bull. de l' Roy. de Belgique. (2.) T. III. No. 11.

**1860.**

5926. H. W. Dove. *Ueber einen besonderen Farbenkreisel des Herrn* **Lohmeier** *in Ha* Berl. Monatsber. S. 491. (Ist gleich dem Dädaleum.)
5927. Goodchild. *Trocheidoskop.* Dingler's Journ. CLVII. S. 181—184. Pract. me Journ. April 4. (Farbenscheiben für Contrasterscheinungen benutzt.)

**1861.**

5928. Shaw. *Description of a new optical instrument called the Stereotrope.* P Mag. (4.) XXII. S. 537.
5929. Swan. *On the gradual production of luminous impressions on the eye, part 2. a description of an instrument for producing isolated luminous impressions o eye of extremely short duration and for measuring their intensity.* Transact. o Roy. Soc. of Edinb. XXII. S. 33.

**1862.**

5930. F. Zöllner. *Ueber eine neue Art anorthoskopischer Zerrbilder.* Pogg. Ann. C 477—484.
5931. J. J. Oppel. *Vorläufige Notiz über eine eigenthümliche Augentäuschung in auf Rotationsrichtungen.* Jahresber. d. Frankf. Vereins. 1861—1862. S. 56—5
5932. D. Brewster. *On the compensation of impressions moving over the retina.* Re Brit. Assoc. 1861. (2.) S. 29.

**1863.**

5933. A. Fick. *Ueber den seitlichen Verlauf der Erregung in der Netzhaut.* Reicher du Bois' Arch. S. 739—764.
5934. O. N. Rood. *On certain appearances produced by revolving discs.* Silliman's J (2.) XXXV. S. 357.

**1864.**

5935. E. Brücke. *Ueber den Nutzeffect intermittirender Netzhautreizungen.* Wien. XLIX. 21. Jan.
5936. H. Aubert. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau S. 96—103.
5937. Montigny. *Note sur un nouveau scintillomètre.* Bull. de l'Acad. de Belgique XVII. S. 260.

**1865.**

5938. A. Claudet. *On moving photographic figures illustrating some phenomena of vision connected with the combination of the stereoscope and the phenakistoscope, by means of photography.* Athen. S. 374. Rep. Brit. Assoc. 2. S. 9.

5939. Laing. *Combination von Stereoskop und Phänakistoskop.* Mechanic's Magazine. (2.) XIII. S. 190.

5940. Lucas. *Théorie mathématique de la vision des corps lumineux.* Les Mondes. IX. S. 546.

5941. E. Mach. *Ueber die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes auf die Netzhaut.* Wien. Akad. Ber. LII. (2.) S. 303.

5942. — *Bemerkungen über intermittierende Lichtreize.* Reichert und du Bois' Arch. S. 629—635.

**1866.**

5943. Laborde. *Dauer der Lichteindrücke* Pogg. Ann. Bd. 129. S. 660. — Compt. rend. T. 63. S. 87.

5944. J. Landerer *Illusion optique.* Mondes. XI. S. 9—10.

5945. E. Mach. *Ueber den physiologischen Effect räumlich vertheilter Lichtreize.* 2. u. 3. Abhandl. Wien. Akad. Ber. LIV. (2.) S. 131 u. 393.

**1867.**

5946. A. Claudet. *A new fact relating to binocular vision.* Phil. Mag. 4. sér. XXXIII. S. 549.

5947. Toepler und Radau. *Stroboscope.* Mondes. (2.) XV. S. 206—209.

5948. Pepper. *L'Eidoscope.* Les Mondes. (2.) XIII. S. 178.

5949. Weber. *Theorie des Anorthoscops und der anorthoscopischen Figuren.* Zeitschr. f. Mathem. u. Physik. XII. S. 133.

**1868.**

5950. Carpenter. *On the Zootrope and its antecedents.* The student and intellectual observer of sc., litt. a. art II. S. 24, 25 u. 26.

5951. S. Exner. *Ueber die zu einer Gesichtswahrnehmung nöthige Zeit.* Wien. Akad. Ber. Bd. 58. (2.) S. 601—632.

5952. Jeffries. *Remarks upon the principles of the Thaumatrope.* Transact. of the Amer. Ophthalm. Soc. 1869. S. 8.

5953. C. Langlois et Angiers. *Kinéscope.* Les Mondes. (2.) XVII. S. 56.

**1869.**

5954. F. Burckhardt. *Eine Relief-Erscheinung.* Pogg. Ann. Bd. 137. S. 471.

5955. C. Burckhardt und H. Faber. *Versuche über die zu einer Farbenempfindung erforderlichen kleinsten Zeiträume.* Pflüger's Arch. Bd. II. S. 121—127.

5956. C. Maxwell. *Zootrope perfectionnée.* Mondes. (2.) XX. S. 585—586.

5957. O J. Rupp. *Die Dauer der Nachempfindung auf den seitlichen Theilen der Netzhaut.* Königsberg. Dissert.

5958. Vierordt. *Das Pendel als Meſsapparat der Dauer der Gesichtseindrücke.* Pflüger's Arch. Bd. II. S. 121—142.

**1870.**

5959. K. Exner. *Ueber die Curven des Anklingens und Abklingens der Lichtempfindungen.* Wien. Akad. Ber. Bd. 62. (Naturw. Kl.) S. 197.

5960. S. Exner. *Ueber die zu einer Gesichtswahrnehmung nöthige Zeit.* Carl's Repert. VI. S. 242—270.

5961. — *Bemerkungen über intermittirende Netzhautreizungen.* Pflüger's Arch. III. S. 214.

5962. Hofmann. *Optische Erscheinung auf fortdauernden Lichteindruck gegründet, und Vorführung von Burckhardt's Reliefcrscheinungen.* Zeitschr. f. Naturwiss. II. (2.) S. 205.

5963. J. Landerer. *Eine optische Täuschung.* Zeitschr. f. Naturwissensch. XXXV. S. 214.

**1871.**

5964. Baxt. *Ueber die Zeit, welche nöthig ist, damit ein Gesichtseindruck zum Bewuſstsein kommt und über die Gröſse (Extension) der bewuſsten Wahrnehmung bei einem Gesichtseindruck von gegebener Dauer.* Pflüger's Arch. f. Physiol. IV. S. 325.

5965. Kurz, A. *Ueber optische Erscheinungen, welche durch zwei rasch sich drehende Körper hervorgerufen werden.* Pogg. Ann. Ergzb. V. 653—655.

5966. R. Pictet. *Mémoire sur la vision binoculaire.* Biblioth. univ. Arch. des Sc. nouv. période. XI. S. 105 u. 114.

5967. O. N. Rood. *On the amount of time necessary for vision.* New-York. Phil (4.) XLII. S. 320. Americ. Journ. of sc. a. arts. No. 2. S. 159.

5968. Zizmann. *Die Bilder der stroboskopischen Scheiben objectivirt.* Dingler's Pol Journ. Bd. 199. S. 231.

**1872.**

5969. Dvořák. *Ueber Analoga der persönlichen Differenz zwischen beiden Auge den Netzhautstellen desselben Auges.* Prager Verhandl. Sitzung vom 8. Mär

**1873.**

5970. Volpicelli. *Effetti della persistenza dei colori sulla retina.* Atti della R. dei Lincei. XXVI. S. 623.

**1874.**

5971. Gorini. *Un caso estraordinario di lunga persistenza delle immagini nell' umano.* Ann. di Ottalm. III. S. 164.

5972. A. Kleiner. *Zur Theorie der intermittirenden Netzhautreizung.* Zürich. I

5973. A. J. Kunkel. *Ueber die Abhängigkeit der Farbenempfindung von de* Pflüger's Arch. f. Physiol. IX. S. 197.

**1875.**

5974. Morton. *Ein neues Chromatrop.* Pogg. Ann. Bd. 157. 1876. S. 150.

5975. A. Riccò. *Sulla successione persistenza della sensazione dei colori.* Atti della R in Modena XVI. Arch. f. Ophthalm. XXII. 1. S. 282. Ann. di Ottalm. IV. Modena, Soliani. 131 S.

**1876.**

5976. W. v. Bezold. *Beiträge zur Geschichte der physiologischen Optik (Farbe und binoculares Sehen).* Pogg. Ann. Bd. VIII. S. 510—515.

5977. Gherardi. *Notizia di un fenomeno d'ottica fisiologica di qualche novita.* I delle sessioni dell'Acad. delle Sc. dell'Istituto di Bologna. 1875/76. S. 134.

5978. P. Gorini. *Un caso extraordinario di lunga persistenza delle imagini nell umano.* La France Méd. S. 735.

5979. A. Kleiner. *Zur Theorie der intermittirenden Netzhautreizung.* Zeitsch ges. Naturwissensch. (N. F.) XIV. S. 133.

5980. A. Riccò. *Esperienze cromostroboscopiche.* Annuario della Società dei Nat in Modena. Anno X.

**1877.**

5981. J. Duboscq. *Expérience de projection, où l'on utilise la persistance des impr sur la rétine.* Journ. de phys. VI. S. 213—216.

5982. C. M. Gariel. *La persistance des impressions sur la rétine, expériences e à l'aide du phénakistoscope de projection.* Paris.

5983. A. J. Kunkel. *Ueber die Erregung der Netzhaut.* Pflüger's Arch. Bd. 15.

5984. Lavand de Lestrade. *Recomposition de la lumière spectrale.* Les Mond XLIII. S. 828.

5985. — *Miroir tournant pour la recomposition des couleurs du spectre.* Les Mond XLIV. S. 416.

5986. B. Th. Lowne. *On some phenomena connected with vision.* Proc. of the Lond Soc. XXV. S. 487—492.

5987. Luvini. *Miroir tremblant pour la recomposition des couleurs du spectre.* Les M (2.) XLIII. S. 427.

5988. — *Recomposition de la lumière spectrale.* Les Mondes. 2. XLIV. S. 97.

5989. Peirce. *Note on the sensation of color.* Silliman's Journ. 3. XIII S. 247

5990. Silvanus Thompson. *Some new optical illusions.* Rep of the Brit. Assoc nications. S. 32.

**1878.**

5991. E. Chevreul. *Sur les phénomènes qui se rattachent à la vision d'objets en mouvement* Compt. Rend. Bd. 86. S. 621.

5992. — *Sur la vision des couleurs et particulièrement de l'influence exer la vision d'objets colorés, qui se meuvent circulairement, quand on les com parativement avec des objets en repos identiques aux premiers.* Compt. Bd. 87. S. 576—578, 707—713.

[illegible] Giraud-Teulon. *Sur la persistance des images sur la rétine. — Rapport les expériences relatives au pourpre de la rétine.* Les Mondes. (2 sér.) XLVI

5994. J. Plateau. *Sur une lois de la persistance des impressions dans l'oeil.* Bull. de l'Acad. roy. de Belg. (2. sér.) T. XLVI. No. 9 u. 10. S. 334.
5995. Reynaud. *Le Praxinoscope.* La Nature. 1. Févr. 1879.

1879.

5996. A. Kleiner. *Physiologisch-optische Beobachtungen. Ueber Talbot's Gesetz.* Pflüger's Archiv. XVIII. S. 542—573.
5997. Richet und Breguet. *Influence de la durée et de l'intensité sur la perception lumineuse.* Compt. Rend. Bd. 88. S. 239—240. — Arch. génér. de méd. April. — Gaz. hebdom. No. 7.
5998. Tobin. *An new illustration of persistance of vision.* Journ. of the Franklin Institute. LXXVIII. (3. sér.) S. 330.

1880.

5999. E. Chevreul. *Note relative à un mémoire sur la vision des couleurs matérielles en mouvement de rotation.* Compt. Rend. Bd. 91. S. 870.
6000. E. Dreher. *Studien am Lebensrad betreffs eines richtigen Verständnisses der Sinneswahrnehmungen.* Die Natur. No. 5. S. 53—55.
6001. Ott und Prendergast. *The rapidity of perception of colored lights.* Journ. of nerv. and ment. dis. (N. S.) V. S. 258.
6002. Richet und Breguet. *De l'influence de la durée de l'intensité de la lumière sur la perception lumineuse.* Arch. de physiol. (2.) VII. S. 689—696.

1881.

6003. Bull. *A new method of examining and numerically expressing the colour perception.* Transact. of the Intern. med. Cong. London. III. S. 49.
6004. Kuhnt. *Empfehlung des Rothe'schen Kreisels.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 93.
6005. E. Lommel. *Einfaches Verfahren, die stroboscopischen Erscheinungen für viele gleichzeitig sichtbar zu machen.* Carl's Repert. XVII. 7. S. 463.
6006. Rayleigh. *Experiments on colour.* Nature XXV. S. 64 u. 66.
6007. R. Rothe. *Farbenkreisel nebst Musterkarte der farbigen Papierscheiben zu Gleichungen.* Prag. — Ann. d'Oculist. Bd. 85. S. 181.

1882.

6008. F. Boas. *Ein Beweis des Talbot'schen Satzes und Bemerkungen zu einigen aus demselben gezogenen Folgerungen.* Wiedem. Annal. XVI. S. 359—362.
6009. A. Charpentier. *Sur la durée de la perception lumineuse dans la vision directe et dans la vision indirecte.* Compt. Rend. Bd. 95. S. 96. France méd. II. S. 112.
6010. E. Chevreul. *Mémoire sur la vision des couleurs matérielles en mouvement de rotation et sur les vitesses respectives évaluées en chiffres, de cercles dont une moitié diamétrale est colorée et l'autre moitié est blanche; vitesses correspondant à trois periodes de leur mouvement à partir de l'extrême vitesse jusqu'au repos.* Compt. Rend. Bd. 95. S. 1086.
6011. Wead. *On Combining Colour-Disks.* Nature. XXV. S. 266.
6012. — *Le Phénakistoscope de projection.* La Nature. X. No. 473. S. 64.

1883.

6013. A. M. Bloch. *Sur la vitesse des transmissions visuelles, auditives et tactiles.* Compt. Rend. Bd. 97. S. 1221.
6014. E. Chevreul. *Sur la vision des couleurs materielles en mouvement de rotation et sur les vitesses respectives, evaluées en chiffres de cercles dont une moitié diametrale est colorée et l'autre moitié est blanche; vitesses correspondant à trois periodes de leur mouvement à partir de l'extreme vitesse jusqu'au repos.* Compt. Rend. Bd. 96. S. 18—29.

1884.

6015. A. M. Bloch. *Experiences sur la vitesse relative des transmissions visuelles, auditives, tactiles.* Journ. de l'anat. et de la physiol. XX. 1.
6016. Buccola und B. Ufferduzzi. *Wahrnehmungszeit der Farben.* Riv. di filos. scient. IV. No. 1.
6017. A. Charpentier. *Sur l'inertie de l'appareil rétinien et ses variations suivant la couleur excitatrice.* Compt. Rend. Bd. 99. S. 1061.
6018. A. Cornu. *Experiences d'optique relatives à l'achromatisme des phenomènes d'interference et à la persistance des impressions sur la rétine.* Assoc. Franc. Blois. S. 162.

6019 J. Duboscq. *Projectionsversuche. Verharren der Eindrücke auf der Retina. Wie herstellung des weifsen Lichtes.* Séances Soc. Phys. Juni/April. S. 665.
6020. Heuse. *Eine stereoskopische Erscheinung in der rotirenden Bildertrommel.* A f. Ophthalm. XXX. 1. S. 159.
6021. E. L. Nichols. *On the duration of color impressions upon the retina.* Sill. Jo XXVIII. S. 243.

1885.

6022. G. O. Berger. *Ueber den Einflufs der Reizstärke auf die Dauer einfacher psychi Vorgänge mit besonderer Rücksicht auf die Lichtreize.* Leipzig.
6023. A. M. Bloch. *Expériences sur la vision.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. II. S.
6024. J. M. K. Cattell. *Ueber die Zeit der Erkennung und Benennung von Schriftzei Bildern und Farben.* Philos. Stud. II. S. 635—650.
6025. — *The inertia of the eye and brain.* Brain. London. VIII. S. 295.
6026. W. Filehne. *Ueber die Entstehungsart des Lichtstaubes, der Starrblindheit der Nachbilder.* Gräfe's Arch. XXXI. (2.) 1—30.

1886.

6027. J. M. C. K. Cattell. *Ueber die Trägheit der Netzhaut und des Sehcentr* Wundt's Philos. Stud. III. S. 94—127.
6028. S. Exner. *Ueber die Funktionsweise der Netzhautperipherie und den Sit Nachbilder.* Gräfe's Arch. f. Ophthalm. XXXII. (1.) S. 233—252.

1887.

6029. A. M. Bloch. *Observations relatives à la persistance visuelle.* Compt. Rend. d Soc. de Biol. (8.) IV. S. 130.
6030. — *Note relative aux deux dernières communications du Prof. Charpentier su persistance visuelle.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 118.
6031. — *Notes sur les sensations visuelles.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S.
6032. — *La vitesse comparative des sensations.* Rev. scient. (3.) XXXIX. S. 585—589
6033. — *Persistance des impressions rétiniennes.* Gaz. hebdom. No. 9. S. 156.
6034. A. Charpentier. *Loi de Bloch relative aux lumières de courte durée.* Compt. R de la Soc. de Biol. (8.) IV. S: 3:
6035. — *Théorie des disques rotatifs.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 39
6036. — *Nouveaux faits relatifs aux excitations lumineuses de courte durée.* Compt. R de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 42.
6037. — *Influence de l'intensité lumineuse sur la persistance des impressions rétinien* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 85.
6038. — *Variations de la persistance des impressions rétiniennes dans différentes condit* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 92.
6039. — *Nouvelle série d'expériences sur la persistance des impressions rétiniennes.* Co Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 120.
6040. — *Influence excercée sur la persistance apparente des impressions rétiniennes pa durée des excitations consécutives.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S.
6041. — *Observations relatives à la persistance visuelle.* Compt. Rend. de la Soc Biol. (8.) IV. S. 174.
6042. — *Sur la période d'addition des impressions lumineuses.* Compt. Rend. de la de Biol. (8.) IV. S. 191.
6043. — *Sur l'apprécitation du temps par la rétine.* Compt. Rend. de la Soc. de (8.) IV. S. 360.
6044. — *Nouvelle note sur l'appréciation du temps.* Compt. Rend. de la Soc. de (8.) IV. S. 373.
6045. — *Note sur le synchronisme apparent de deux excitations lumineuses successiv voisines.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 447.

1888.

6046. A. M. Bloch. *Sur le temps perdu de l'excitation rétinienne.* Soc. de Biol. 26.
6047. A. Charpentier. *Temps perdu du nerf optique pour les excitations lumineu colorées.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. V. S. 308.
6048. — *Nouvelle note sur le temps perdu du nerf optique.* Compt. Rend. de la Soc Biol. V. S. 372.
6049. — *La perception différentielle des lumières instantanées.* Compt. Rend. de la Soc Biol. V. S. 471.

0. A. Charpentier. *Influence de la surface sur la sensibilité lumineuse dans le cas des lumières instantanées.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. V. S. 536.
1. — *Durée de l'excitation latente de l'appareil visuel.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. S. 305.
2. — *La persistance des images rétiniennes au centre et à la périphérie de la rétine.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. S. 374.
3. — *Sur l'intensité comparée des lumières brèves et de lumières continues.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. S. 493.

1889.

4. L. Bellarminow. *Ueber intermittirende Netzhautreizung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. 1. S. 25—49. Westn. ophthalm. VI. 1. S. 1. Tagebl. d. III. Kongresses d. russ. Aerzte. S. 290.
5. L. Couteaux. *Une conséquence de l'intermittence des sensations.* Rev. scient. XLIII. S. 316.
6. G. N. Stewart. *Ist das Talbot'sche Gesetz gültig für sehr schnell intermittirendes Licht?* Proceed. of the Roy. Sc. of Edinburgh. XV. 127. S. 441.

1890.

7. E. Canestrini. *Esperienze di ottica fisiologica.* Atti della Società Veneto Trentina de Scienze Naturali. Vol. XI.
8. A. Charpentier. *Recherches sur la persistance des impressions rétiniennes et sur les excitations lumineuses de courte durée.* Arch. d'Ophthalm. X. S. 108—135, 212—231, 340—356, 406—430. 522—537.
9. — *Méthode directe pour l'étude de la persistance des impressions lumineuses.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 25. April. S. 198.
0. — *Interférence rétinienne.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 16. Mai. S. 263.

1891.

1. E. G. Baader. *Ueber die Empfindlichkeit des Auges für Lichtwechsel.* Diss. Freiburg. 38 S.
2. Brown-Séquard. *Remarques sur les recherches de M. Charpentier sur l'intensité et sur la persistance des impressions lumineuses brèves.* Arch. de Physiol. XXIII. No. 3.
3. A. Charpentier. *Démonstration expérimentale d'un temps perdu dans l'excitation des centres visuels.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. S. 528—530.
4. — *Sur la persistance totale des impressions lumineuses, distinguée de leur persistance apparente.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. S. 600—601.
5. — *Dissociation des impressions lumineuses successives par des zones différentes de la rétine.* Arch. de Physiol. (5.) III. 4. S. 674—687.
6. — *Relation entre les oscillations rétiniennes et certains phénomènes entoptiques.* Compt. Rend. CXIII. No. 4. S. 217—219.
7. — *Résultats d'expériences sur les interférences rétiniennes* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 19. S. 434—437.
8. — *Méthode pour l'observation des interférences rétiniennes.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 18. S. 388—392.
9. A. Kurz. *Stroboscopische Demonstrationen.* Exner's Repert. Bd. 27. S. 569—581.

1892.

0. E. Faravelli. *Il tempo quale coefficiente da introdursi nella determinazione del visus.* (Nota preventiva.) Revista gen. ital. di Clinica med. anno IV. No. 12—13.
1. Cl. Royer. *Recherches d'optique physiologique et physique.* Bruxelles. 42 S. Monnon.

1893.

2. K. Marbe. *Zur Lehre von den Gesichtsempfindungen, welche aus successiven Reizen resultiren.* Diss. Bonn. — Wundt's Philos. Stud. IX. S. 384—399.
3. A. Charpentier. *Démonstration directe de la différence de temps perdu suivant les couleurs.* Arch. de Physiol. (5) V. 3. S. 568—571.

1894.

4. K. Marbe. *Vorrichtung zur successiven Variirung der Sectoren rotirender Scheiben und zur Ablesung der Sectorenverhältnisse während der Rotation.* Centralbl. f. Physiol. Heft 25. S. 1—4.

## § 23.

# Die Veränderungen der Reizbarkeit.

**Hinsichtlich der Adaptation ist auch die Litteratur von § 21 1, hinsichtlich der positiven die Litteratur von § 22 zu beachten.**

**1100.**

6075. ALHAZEN. *Opticae thesaurus.* Basel. 1572. lib. III, cap. V.

**1593.**

6076. J. B. PORTA. *De refractione optices parte libri novem.* Neapel. lib. II

**1613.**

6077. D'AGUILON. *Francisci Aguilonii opticorum libri sex.* Antwerpen. lib. S. 56 u. 57.

**1634.**

6078. PEIRESCII *Vita.* S. 175. 296.

**1644.**

6079. DESCARTES. *Dioptrice et Meteora.* Amsterdam. Kap. 6. § IV.

**1646.**

6080. ATHAN. KIRCHER. *Ars magna lucis et umbrae.* S. 162.

**1668.**

6081. MARIOTTE. *Oeuvres.* S. 318.

**1674.**

6082. MILLIET DECHALES. *Cursus seu Mundus Mathematicus.* Lyon III. lib. 2.

**1689.**

6083. DE LA HIRE. *Dissertation sur les différents accidents de la vue.* 1re Mém. de l'Acad. des sc. de Paris IX (veröffentl. 1730) (bei PORTERFI eye. I. S. 343).

6084. I. NEWTON. *Experiments on ocular spectra produced by the action of th on the retina.* Edinb. Journ. of Sc. IV. S. 75.

**1691.**

6085. J. NEWTON. *Brief vom 30. Juni 1691.* Mitgetheilt in Newton's Leben vo übersetzt von Goldberg. Leipzig. 1833. S. 263—265.

**1699.**

6086. MALEBRANCHE. *Réflexions sur la lumière et les couleurs, etc.* Mém. de sc. de Paris.

**1738.**

6087. JURIN. *Essay on distinct and indistinct vision.* S. 176. In Smith's O bridge.

**1743.**

6088. BUFFON. *Dissertation sur les couleurs accidentelles.* Mém. de Paris. S.

**1755.**

6089. DE BERGEN. *De maculis et faculis a solis aspectu in oculo residuis.* Acad. Naturae curiosor. I. S. 188. 1757.

6090. NOLLET. *Leçons de physique expérimentale.* V. S. 509 n. 510.

**1761.**

6091. SCHERFFER. *Diss. de coloribus accidentalibus.* Viennae.

**1765.**

6092. SCHERFFER. *Abhandlung von den zufälligen Farben.* Wien; übers. im Physique de Rozier. XXVI. S. 175 und 273.

6093. AEPINUS. *De coloribus accidentalibus.* Nov. Com. Acad. Petr. X. S. 282 Physique 1776. XXVI. S. 291.

**1769.**

6094. B. FRANKLIN. *New experiments and observations.* London. S. 469. — Jou de Rozier 1773. II. S. 383.

**1775.**

5. MONGEZ. *Lettre sur une dégradation des couleurs.* Journ. de phys. de Rozier. VI. S. 481.

6. ROZIER. Journ. de phys. de Rozier. VI. S. 486.

7. SCHERFFER. *Institutionum opticarum partes quatuor.* Wien. Th. I. cap. II. art III.

**1776.**

8. DE GODART. *Premier mémoire d'optique, ou explication d'une expérience de M. Franklin.* Journ. de phys. de Rozier. VII. S. 509.

9. — *Deuxième mémoire d'optique, ou recherches sur les couleurs accidentelles.* Journ. de phys. de Rozier. VIII. S. 1.

0. — *Troisième mémoire d'optique, ou suite de celui sur les couleurs accidentelles.* Journ. de phys. de Rozier. VIII. S. 269.

**1781.**

1. KRATZENSTEIN. *Afhandling om det menneskelige öies achromatiske beskaffenhed.* Nouv. collect. des mém. de la Soc. roy. Danoise d. sc. I. S. 131. Kopenhagen.

**1786.**

2. E. DARWIN. *On the ocular spectra of light and colours.* Phil. Trans. Vol. 76. S. 313.

**1787.**

3. *Dissertation sur les couleurs accidentelles.* Journ. de phys. de Rozier. XXX. S. 407.

**1792.**

4. WELLS. *An essay upon single vision with two eyes; together with experiments and observations on several other subjects in optics.* London.

**1794.**

5. E DARWIN. *Zoonomia or the law of organic life.* London. — Deutsche Uebersetzung von Brandis. Hannover 1795. II. S. 387.

**1796.**

6. VOIGT. *Beobachtungen und Versuche uber farbiges Licht, Farben und ihre Mischung.* Gren's Journ. d. Phys. III. S. 235.

**1798.**

7. COMPARETTI. *Observationes dioptricae et anatomicae de coloribus apparentibus.* Patav.

**1802.**

8 TROXLER. *Ueber das Verschwinden gegebener Gegenstande innerhalb unseres Gesichtskreises.* Himly und Schmidt Ophthalmolog. Bibliothek. Bd. I, St. 2, S. 1—20, Bd. II, St. 2, S. 40.

**1803.**

9. HIMLY. *Einiges über die Polarität der Farben.* Ophthalm. Biblioth. I. 2 S. 1.

**1804.**

0. PRIEUR DE LA COTE D'OR *Bemerkungen uber die Farben und einige besondere Erscheinungen derselben.* Ann. d. Chim LIV. S. 1. — Gilb. Ann. XXXI. S. 315.

1. TROXLER. *Präliminarien zur physiologischen Optik.* Ophthalm. Biblioth v. Himly. II. (2.) S. 54 u. (3.) S. 1.

**1810.**

2. J. W. v. GOETHE. *Zur Farbenlehre.* I. S. 13. 20

**1816.**

3. *Ueber physiologe Gesichts- und Farbenerscheinungen* Schweigger's Arch. Bd. 16. S. 121—157.

**1817.**

4. SCHULZ. *Ueber physiologische Farbenerscheinungen, insbesondere das phosphorische Augenlicht als Quelle derselben betrachtet* In Goethe für Naturwiss. II. S. 20. 38.

**1819.**

5. PURKINJE. *Beiträge zur Physiologie der Sinne.* I. S. 92.

**1826.**

6. J. MÜLLER. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes.* Coblenz. S. 401.

**1830.**

7. LEHOT. *Nouvelle explication des couleurs accidentelles.* Ann. des sciences d'observ. par Saigey et Raspail. III. 3. S. 329. Froriep's Notizen XXVIII. S. 177; Fechner's Repertorium 1832. S. 229

8. GERGONNE in seinem Journ. de Mathem. XXI. S. 291.

1845.

43. Wheatstone. *Sur un effet singulier de juxtaposition de certaines couleurs dans des circonstances particulières.* Inst. No. 582. S. 75.

1846.

44. Coates. *Ocular spectra.* Proc. of the Americ. Philos. Soc. IV. S. 239.

1847.

45. H. W. Dove. *Ueber subjective Farbenerscheinungen bei einem Farbenkreisel, und eine darauf gegründete Methode, seine Umdrehungsgeschwindigkeit zu bestimmen.* Pogg. Ann. LXXI. S. 112.

1848.

46. H. W. Dove. *Ueber Scheiben zur Darstellung subjectiver Farben.* Pogg. Ann. LXXV. S. 526.

47. Grüel. *Ueber einen Apparat für subjective Farbenerscheinungen.* Pogg. Ann. LXXV. S. 524.

48. H. Taylor. *On the apparent motion of the figures in certain patterns of blue and red worsted.* Phil. Mag. XXXIII. S. 345; Froriep's Notizen IX. S. 33; Arch. d. sc. phys. et nat. X. S. 304.

1849.

49. J. Plateau. *Quatrième note sur de nouvelles applications curieuses de la persistance des impressions sur la rétine.* Bull. de l'Acad. de Belg. XVI. (2.) S. 254.

1850.

50. J. M. Seguin. *Sur les couleurs accidentelles.* Compt. Rend. XXXIII. S. 642. XXXIV. S. 767—768. XXXV. S. 476. — Phil. Mag. (4.) III. S. 77. — Sillim. Journ. (2.) XIII. S. 441.

51. Sinsteden. *Ueber einen neuen Kreisel zur Darstellung subjectiver Complementärfarben und eine eigenthümliche Erscheinung, welche die Orangefarbe dabei zeigt.* Pogg. Ann. LXXXIV S. 45.

52. E. Brücke. *Untersuchungen über subjective Farben.* Pogg. Ann. LXXXIV. S. 418. Wien. Denkschr. III. S. 95; Arch. d. sc. phys. et nat. XIX. S. 122.

53. Minich. *Sui colori accidentali.* Atti dell'Istituto Veneto di sc. lettere ed arti

1852.

54. W. R. Grove. *On a mode of reviving dormant impressions on the retina.* Phil. Mag. (4.) III. S. 435—436; Inst. S. 251—252. Arch. d. sc. phys. et nat. XX. S. 227—228; Cosmos I. S. 237—238.

55. H. W. Dove. *Zur Erklärung der flatternden Herzen.* Pogg. Ann. LXXXV. S. 402.

1854.

56. J. J. Oppel. *Ueber das Phänomen der flatternden Herzen.* Jahresber. d. Frankfurter Vereins 1853—1854. S. 50—52; Hallesche Zeitschr. für Naturwissenschaft. V. S. 319.

57. W. Scoresby. *An inquiry into some of the circumstances and principles which regulate the production of pictures on the retina of the human eye with their measure and endurance, their colours and changes.* Phil. Mag. (4.) VII. S. 218—221; VIII. S. 544. Inst. S. 154—156; Proc. of Roy. Soc VI. S. 380—383. VII. S. 117—122. Athen. S. 1272.

58. J. M. Seguin. *Recherches sur les couleurs accidentelles.* Ann. de Chim. et de Phys. (3.) XLI. S. 413—431.

1855.

59. S. Marianini. *Sur une manière de voir facilement les couleurs accidentelles.* Arch. d. sc. phys. XXX. S. 325; Cimento. I S. 165.

1856.

60. van Breda. *Eenige waarnemingen over de zoogenaamde nabeelden.* Acad. van Wetenschap. te Amsterdam. afdeel. Natuurk V. S. 342.

61. J. M. Seguin. *Couleurs accidentelles.* Cosmos IX. S. 39.

62. Vierordt. Arch. f. physiol. Heilkde. Heft 2.

1857.

63. Melsens. *Recherches sur la persistance des impressions de la rétine.* Bull. de Bruxelles. (2.) III. 214—252. Cl. d. sc. S. 735—777.

1858.

64. H. Helmholtz. *Ueber Nachbilder.* Ber. über die 34. Vers. deutscher Naturf. in Carlsruhe. S. 225—226.

65. — *Ueber die subjectiven Nachbilder im Auge* Niederrhein. Sitzgs.-Ber. S. 98—100.

6166. H. Aubert. *Ueber das Verhalten der Nachbilder auf den peripherische der Netzhaut.* Moleschott, Unters. z. Naturlehre IV. S. 215—239.
6167. J. M. Séguin. *Note sur les couleurs accidentelles.* Compt. Rend. XLVII. S. 1

1859.

6168. H. Aubert. *Ueber die durch den electrischen Funken erzeugten Nachbilde* schott. Unters. z. Naturlehre. V. S. 279—314.

1861.

6169. J. Smith. *On the chromascope.* Rep. of Brit. Assoc. 1860. 2. S. 65—66. 1861

1862.

6170. H. Aubert. *Untersuchungen über die Sinnesthätigkeiten der Netzhaut.* P CXV. S. 87—116. CXVI. S. 249—278.
6171. E. Rose. *Presentations of colour produced under novel conditions.* Rep. of B 1861. 2. S. 33. (Aus intermitttirendem Weiss und Schwarz.)

1863.

6172. M. Bokowa. *Ein Verfahren, künstliche Farbenblindheit hervorzubringen.* f. rat Med. (3.) XVII. S. 161.

1864.

6173. H. Aubert. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau. S. 347—386.

1865.

6174. E. Brücke. *Ueber Ergänzungsfarben und Contrastfarben.* Wien. Sitzs.-Be
6175. Ladame. *Sur les couleurs accidentelles.* Bull. de la Soc. des Sc. nat. de N VII. 1864—67. S. 84.
6176. E. Mach. *Ueber die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreize Netzhaut.* I. Wien. Ber. Bd. 52. S. 308—322.
6177. F. Burckhardt. *Die Contrastfarben im Nachbilde.* Verh. d. naturf. Ges. IV. S. 263—285.

1866.

6178. F. Burckhardt. *Die Contrastfarben im Nachbilde.* Pogg. Ann. Bd. 12 bis 548.
6179. Laborde. *Impressions persistantes de la lumière; comment elles s'accompli les yeux.* Mondes. XI. S. 576—582. Pogg. Ann. Bd. 129. S. 660. Com Bd. 63. S. 87.
6180. E. Mach. *Ueber die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreize Netzhaut.* II. Wien. Ber. Bd. 54. (2.) S. 131—134. — III. Wien. Ber. B S. 393.
6181. C. F. Müller. *Versuche über den Verlauf der Netzhautermüdung.* In Zürich.

1867.

6182. E. Chevreul. *Observations à propos d'une communication de M. Decha divers phénomènes de vision.* Compt. Rend. LXV. S. 612—613.
6183. Czerny. *Ueber Blendung der Netzhaut durch Sonnenlicht.* Sitzgs.-Ber. d Acad. d. Wiss. II. Abth. Oct-Heft. B. LVI.
6184. H. W. Dove. *Optische Notizen. I. Vereinigung prismatischer Farben zu Weifs; subjektive Farben durch elektrische Beleuchtung.* Pogg. Ann. Bd. 131. S. 6
6185. Th. W. Engelmann. *Ueber Scheinbewegung in Nachbildern.* Jenaische Ze Med. u. Naturwiss. Bd. III. S. 443.
6186. — *Over schijnbewegingen bij nabeelden.* Ned. Arch. III. S. 114.
8187. A. Rollet. *Zur Lehre von den Contrastfarben und dem Abklingen der Farb* Ber. Bd. 55. 2. S. 424—432.

1868.

6188. Czerny. *Ueber Blendung der Netzhaut durch Sonnenlicht.* Wien. Ber. S. 409—428.
6189. E. Mach. *Ueber die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreize Netzhaut.* IV. Wien. Ber. Bd. 57. (2.) S. 11—19.
6190. Monoyer. *Idée d'une nouvelle théorie entièrement physique des images con* Bull. de la Soc. des Sc. nat. de Strassbourg. I. S. 58 u. 65.

1870.

6191. Dvorák. *Versuche über die Nachbilder von Reizveränderungen.* Wien. A Bd. 61. Abth. 2. S. 257.

2. C. Marangoni. *Nuovo metodo di sviluppare nell' occhio le immagini accidentali abbaglianti.* Nuov. Cim. (2.) III. S. 132—147. Rendic. Lomb. (2.) III. 1. S. 189—196.
3. J. M. Séguin. *Mémoire sur les images accidentelles des objets blancs.* Compt. Rend. Bd. 70. S. 322—323.
4. Tait *Note on a singular property of the retina.* Edinb. Proc. 1869/70. VII. S. 605—607.

1871.

5. E. Adamück und M. Woinow. *Beiträge zur Lehre von den negativen Nachbildern.* Arch. f. Ophthalm. XVII. 1. S. 135.
6. J. K. Becker. *Zur Lehre von den subjectiven Farbenerscheinungen.* Pogg. Ann. Supplem. Bd. V. S. 305.
7. Dubrunfaut. *Vision.* Inst. S. 102.

1872.

8. A. S. Davis. *On recurrent Vision.* Phil. Mag. (4.) XLIV. S. 526.
9. Dvorák. *Über Analoga der persönlichen Differenz zwischen beiden Augen und den Netzhautstellen desselben Auges.* Wien. Ber. 8. März 1872.
0. S. Exner. *Ueber den Erregungsvorgang im Sehnervenapparate.* Wien. Sitzungsber. LXV. (3.) S. 59.
1. E. Hering. *Zur Lehre vom Lichtsinn. I. Ueber successive Lichtinduction.* Wien. Ber. (3.) LXVI. S. 5—24.
2. Marangoni. *Neue Methode, die Blendungsbilder im Auge zu entwickeln.* Pogg. Ann. Bd. 146. S. 115.
3. C. A. Young. *Note on Recurrent Vision.* Nature. V. S. 512. Sill. Journal (3.) III. S. 262. Naturf. V. S. 200. Phil. Mag. (4.) XLIII. S. 343.

1873.

4. Delboeuf *Étude psychophysique. Recherches théoriques et expérimentales sur la mesure des sensations, et spécialement des sensations de lumière et de fatigue.* Acad. de Belg. Bd. XXIII.
5. E. Hering. *Zur Lehre vom Lichtsinn. III. Ueber simultane Lichtinduction und über successiven Contrast.* Wien. Ber. (3.) LXVIII. S. 229—244.
6. Lamey. Mondes (2.) XXXII. S. 442.
7. Ragona Scina. *Su taluni fenomeni di colorazione soggettiva.* Mem. dell'Acad. di Modena XIV. S. 7.

1874.

8 W. Schön. *Einfluss der Ermüdung auf die Farbenempfindung.* Arch. f. Ophthalm. XX (2.) S. 273.

1875.

9. S. Exner. *Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Processe. IV. Abh. Die Empfindungszonen des Sehnervenapparates.* Pflüger's Arch. XI. S. 581—602.
0. J. Plateau. *Sur les couleurs accidentelles ou subjectives.* Bull. de l'Acad. roy. de Belgique. 2me Ser. T. 39. No. 1. S. 100—119. 1. Janvier.
1. Reymond. *Stato torpido e hemeralopico della Retina.* Ann. d'Ottalm. IV. S. 40 bis 112.
2. A. Riccò. *Sulla successione e persistenza delle sensazioni dei colori.* Atti della R. Acad. di sc. in Modena XVI.
3. H. Walb. *Ueber periodische Ermudung des Auges.* Klin. Monatsbl. für Augenheilkde. XIII. S. 195—199.

1876.

4. Dönhoff. *Beiträge zur Physiologie. IV. Ueber oscillirende Gesichtsempfindungen.* Arch. f. anat. Physiol. u. wiss. Med. (4.) S. 459.
5. H. Hartshorne. *On some disputed points in physiological optics.* Proc. of the Amer. philos. Soc. XVI. S. 218 u. 221.
6. Kleiner. *Interessante physiologisch-optische Beobachtungen.* Gäa XII. S. 378. — Vierteljahrsschr. d. naturf. Ges. Zürich. XX. S. 488.
7. H. Morton. *Ein neues Chromatrop.* Pogg. Ann. Bd. 157. S 150—155.
8. J. Plateau. *Sur les couleurs accidentelles ou subjectives.* Bull. de l'acad. roy. de Belgique. 2. ser. XLII No. 9, 10 und 11.
9. Riccò. *Esperienze cromostroboscopiche.* Annuario della Soc. dei Naturalisti in Modena. X fasc. 1

1877.

6220. E. Chevreul. *Sur un phénomène de l' insolation de l'oeil, qui n'a point ex expliqué.* Compt. Rend. Bd. 84. S. 895—900.
6221. P. Cintolesi. *Sopra un fenomeno d'ottica fisiologica; Nota preliminare.* Cimento. (3.) II.
6222. J. v. Kries. *Ueber Ermüdung des Sehnerven.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. 2. S. 1—43.
6223. O. N. Rood. *Observations on a property of the retina first noticed by Tait.* Journ. XIII. S. 32

1878.

6224. P. Cintolesi. *Notice relative à quelques phénomènes subjectifs observés dan mination intermittente de la rétine.* Arch. des sc. phys. et nat. T. 63.
6225. S. Exner. *Zur Kenntniſs von der Regeneration in der Netzhaut.* Pflüger' XVI. S. 407.
6226. Richet. *Excitabilité de la rétine.* Progr. méd. No. 45. S. 859.

1879.

6227. J. Aitken. *A new variety of ocular spectrum.* Proc. of the Roy. Soc. of Edi Vol. X. — Journ. of anat. and phys. XIII. 3.
6228. E. Chevreul. *Sur les pirouettes complémentaires.* Compt. Rend. Bd. 88.
6229. S. Exner. *Weitere Untersuchungen über die Regeneration in der Netzhaut u Druckblindheit.* Pflüger's Arch. XX. S. 614—626.
6230. P. Cintolesi. *Intorno alle immagini accidentali o soggettive.* Ann. di Ottalm VIII. fasc. 2 u. 3.
6231. Richet und Breguet. *Influence de la durée et de l'intensité sur la pe lumineuse.* Compt. Rend. Bd. 88. S. 239—240. — Gaz. hebd. No. 7. - génér. de méd. April.

1880.

6232. J. Plateau. *Une application des images accidentelles.* Bull. de l'Acad. de B 2 sér. T. XLIX. No. 5.
6233. Richet und Breguet. *De l'influence de la durée de l'intensité de la lumiè perception lumineuse.* Arch. de phys. (2.) VII. S. 689—696.
6234. J. M. Séguin. *Images accidentales des objets blançs.* Ann. de Chim. et d (5.) XIX. S. 450—464.
6235. Thompson. *A new illustration of persistance of vision.* Journ. of the I Institute. (3.) LXXIX. S. 53.

1881.

6236. A. Charpentier. *Illumination violette de la rétine, sous l'influence d'osc lumineuses.* Compt. Rend. Bd. 92. No. 7. S. 355—357.
6237. E. Emmert. *Gröſsenverhältnisse der Nachbilder.* Kl. Monatsbl. f. Auger December.
6238. H. Kuhnt. *Ueber farbige Lichtinduction.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (3.)
6239. J. Plateau. *Une application des images accidentelles.* Bull. de l'Acad. Roy. de I (3.) II. 9/10.
6240. Smith. *Apparent decomposition of sun-light by intermittent reflecting* Nature. XXIV. S. 141.

1882.

6241. R. Deutschmann. *Ueber Blendung der Netzhaut durch directes Sonnenlicht.* Arch. f. Ophthalm. XXVIII. (3.) S. 241.
6242. Haab. *Ueber die Schädigung der Augen durch Sonnenlicht.* Corr.-Bl. Aerzte. No. 12. S. 381.
6243. J. B. Hannay. *Colour-Perception.* Nature. Vol. XXV. S. 604.
6244. Macé de Lépinay et W. Nicati. *Sur un phénomène d'optique physiologique* de Phys. (2.) I. S. 86.
6245. D. Oughton. *Motor diathesis of the secondary perceptions.* Lancet. S. 13
6246. — *Composition, resolution and abeyance of secondary perceptions.* Lancet.
6247. J. Plateau. *Sur les sensations que l'auteur éprouve dans les yeux.* Bull. I (3.) III. S. 241—243.
6248. Pouchet. *Sur une espèce particulière des images consécutives d'origine cérébrale* Rend. de la Soc. de Biol. S. 301.

9. Napier Smith. *Colour-Perception.* Nature. XXVI. S. 8.
0. Swan. *Perception of Colour.* Nature. XXVI. S. 246.

**1883.**

1. A. Charpentier. *Recherches sur la vitesse des réactions d'origine rétinienne.* Arch. de physiol. norm. et pathol. I. S. 599.
2. Reich. *Blendung durch Beobachtung einer Sonnenfinsterniſs.* Wratsch. No. 45 und 46.

**1884.**

3. G. St. Clair. *Spectrum colours, colour sensations and after images. Suggestions for extending the dynamical theory.* Proc. of the Birmingh. Phil. Soc. Vol. IV. Part. I. S. 116. — Ophthalm. Rev. III. S. 97.
4. E. O. Erdmann. *Ueber ungleiche Ermüdung centraler und peripherischer Theile der Netzhaut.* Verhandl. d. phyikal. Gesellsch. zu Berlin. 22. Febr.
5. S. Exner. *Ueber den Sitz der Nachbilder im Centralnervenorgan.* Exner's Rep. d. Phys. Bd. XX. S. 374.
6. Le Roux. *De la dislocation mécanique des images persistentes.* Acad. des Sc. Sitzung vom 20. October.
7. J. Royce. *Afterimages.* Science. III. S. 321.
8. M. v. Vintschgau und A. Lustig. *Zeitmessende Beobachtungen über die Wahrnehmung des sich entwickelnden positiven Nachbildes eines electrischen Funkens.* Pflüger's Arch. XXXIII. S. 494.

**1885.**

9. S. Bidwell. *On certain spectral images produced by a rotating vacuum tube.* Nature. XXXII. S. 30—31.
0. — *Ocular After-Images and Lightning.* Nature. XXXII. S. 101—102.
1. A. Charpentier. *Sur la durée de l'adaptation de la rétine à l'obscurité.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. II S. 310
2. — *Recherches sur la perception différentielle successive.* Arch. d'Ophthalm. S. 1.
3. A. S. Davis. *Ocular After-Images and Lightning.* Nature. XXXII. S. 126.
4. Féré und A. Londe. *Observations pour servir à l'histoire des effets dynamiques des impressions visuelles.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol II. S. 362.
5. W. M. Laurin. *Ocular-Images and After Images.* Nature. XXXII. S. 197.
6. H. F. Newall. *On Certain Stages of Ocular After-Images.* Nature. XXXII. S. 77—78.
7. C. F. Sinclair. *Sun-blindness.* Journ. americ. med. ass. V. S. 483.
8. Williams. *Snow blindness.* St. Louis med. and surg. Journ. XLVIII. S. 336.

**1886.**

9. A. Charpentier. *L'inertie rétinienne et la théorie des perceptions visuelles.* Arch. d'ophthalm. S. 114.
0. — *Expériences sur la marche de l'adaptation rétinienne.* Arch. d'Ophthalm. S. 294.
1. Hoffmann. *Ueber die Schneeblindheit und einige verwandte Blendungserscheinungen.* Mitth. d. deutsch u. österr. Alpenvereins. No. 6.
2. E. P. Le Roux. *Sur les images secondaires ou de persistance.* Compt. Rend. CII. S. 166—168.
3. Ch. A. Oliver. *Subjective After-Color. (Complementary-Color.)* Proc. Amer. Phil. Soc. XXIII. S. 500—502.

**1887.**

4. J. v. Kries. *Entgegnung an Herrn E. Hering.* Pflüger's Arch. XLI. S. 389—397.

**1888.**

5. A. Berlin. *Om snöblindhet.* Nord med. arkiv. XX. No. 3.
6. E. Hering. *Ueber die von J. von Kries wider die Theorie der Gegenfarben erhobenen Einwände.* 1. Mittheilung. *Ueber die Unabhängigkeit der Farbengleichungen von den Erregbarkeitsveränderungen des Sehorgans.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 42. S. 488—506.
7. — *Ueber die von J. von Kries wider die Theorie der Gegenfarben erhobenen Einwände.* 2. Mittheilung *Ueber successive Lichtinduction und sogenannte negative Nachbilder.* Pflüger's Arch f. d. ges. Physiol. Bd. 43. S. 264—288.
8. — *Ueber die von J. von Kries wider die Theorie der Gegenfarben erhobenen Einwände.* 3. Mittheilung. *Ueber die sogenannten Ermudungserscheinungen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 43. S. 329—346.

08. L. Grossmann. *Ueber reflectorische Hyper- und Anästhesie der Retina.* Wien. med. Presse. 1893. No 45, 46, 47.
09. E. Hering. *Offener Brief an Prof. H. Sattler.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIX. 2. S. 274—290.
10. C. Hess. *Ueber die Unvereinbarkeit gewisser Ermüdungserscheinungen des Sehorgans mit der Dreifasertheorie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIX. (2.) S. 45—70.
11. K. Marbe. *Die Schwankungen der Gesichtsempfindungen.* Phil. Stud. VIII. S. 615—637.
12. Rosenbach. *Die Farbensirene und Bemerkungen über die Entstehung der Farben.* Schles. Ges. f. vaterl. Cultur. 8. Nov. 1893.
13. A. Schapringer. *Zur Theorie der „Flatternden Herzen".* Zeitschr. f. Psychol. V. 6. S. 385—396.
14. H. Snellen, sen. *Ueber Nachbilder.* Ber. üb. d. XXIII. Vers. d. Ophthalm. Ges. S. 4—11. — Ann. d'Ocul. Bd. 110. S. 241.
15. J. Widmark. *Ueber Netzhautblendung.* Nord. ophthalm. Tidsskr. V. S. 2.
16. P. Zeeman. *Ueber eine subjective Erscheinung im Auge.* Zeitschr. f. Psychol. VI. S. 233—235.

1894.

17. S. Bidwell. *On the recurrent images following visual impressions.* Proc. of the roy. Soc. Bd. 56. No. 337. S. 132—145.
18. H. P. Bosscha. *Primäre, secundäre und tertiäre Netzhautbilder nach momentanen Lichteindrücken.* Graefe's Arch f. Ophthalm. Bd. 40. (1.) S. 22—42.
19. C. Hess. *Bemerkung zu dem Aufsatze von Bosscha: „Primäre, secundäre und tertiäre Netzhautbilder nach momentanen Lichteindrücken."* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (1.) S. 337—338.
20. — *Studien über Nachbilder.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (1.) S. 259—279.
21. G. Mackay. *On blinding of the retina by direct sunlight. A study in prognosis (concluded).* Ophthalm. Rev. XIII. S. 1, 41 u. 83.
22. Raia. *Ueber die Ermüdung der Augen.* Ann. di Ottalm. 1894. 3/4.

---

## § 24.

## Vom Contraste.

1651.

23. Leonardo da Vinci († 1519). *Trattato della pittura.* Cap. CLVI, CC, CCCXXVIII.

1672.

24. Otto v. Guericke. *Experimenta nova, ut vocantur, Magdeburgica de vacuo spatio.* Amstelod. S. 142.

1738.

25. Jurin. *Essay on distinct and indistinct vision.* S. 170.

1743.

26. G. de Buffon. *Sur les couleurs accidentelles.* Mém. de Paris. S. 217.

1752.

27. Mazeas. *Observations sur les couleurs engendrées par le frottement des surfaces planes et transparentes.* Mém. de l'Acad. de Berlin.

1757.

28. Voltaire. *Essay sur l'histoire générale, et sur les moeurs et l'esprit des nations.* Chap. CXLII.

1760.

29. P. Bouguer. *Traité d'optique sur la gradation de la lumière.* Paris. S. 368.
30. Mellville. *Observations on light and colours. Essays and observations.* Phys. and Litt. Edinburgh. II. S. 12 u. 75.

1818.

58. v. Paula Schrank. *Ueber die blauen Schatten,* Abhandl. der Münchener Akad. S. 57.

1820.

59. Muncke. *Ueber subjective Farben und gefärbte Schatten.* Schweigger's Journ. XXX. S. 47.

1826.

60. Zschokke. *Die farbigen Schatten, ihr Entstehen und ihr Gesetz.* Aarau. Unterhaltungsbl. f. Natur- u. Menschenkde. S. 49.

1827.

61 Brandes. Art.: *Farbe* in Gehler's neuem physik. Wörterb. IV. S. 124.

62. Treschel. *Sur les ombres colorées.* Biblioth. univers. XXXII. S. 8.

1828.

63. Bourgeois. *Sur un nouveau phénomène d'optique.* Bullet. de Férussac. IX. S. 179.

1829.

64. Reade. *On the nature of light and shadow, demonstrating that a black shadow can be rarefied, without refraction, into all the colours of the rainbow.* Philos. Mag. N. S. V. S. 109.

1830.

65. Hiort. *De functione retinae.* 2. Theil. §§ 7, 8, 34 u. 35

66. Tourtual. *Ueber die Erscheinungen des Schattens und deren physiologische Bedingungen, nebst Bemerkungen über die wechselseitigen Verhältnisse der Farben.* Berlin.

67. C. J. Lehot. *Eine neue Erklärung der zufälligen Farben.* Froriep's Notizen. Bd. XXVIII. S. 177—181.

68. — *Nouvelle explication des couleurs accidentelles.* Ann. des sc. d'observation par Saigey et Raspail. III. S. 329.

1831.

69. Gergonne. *Essai théorique sur les couleurs accidentelles.* Ann. de Mathém. pures et appliquées de Gergonne. XXI. S. 284.

1832.

70. Smith von Fochabers. Edinb. Journ. of Sc. V. S. 52.

71. D. Brewster. *Ueber den Versuch von Smith.* Pogg. Ann. XXVII. S. 494.

72. E. Chevreul. *Sur l'influence, que deux couleurs peuvent avoir l'une sur l'autre, quand on les voit simultanément.* Mém. de l'Acad. de Paris. XI.

1833.

73. Osann. *Beschreibung einer einfachen Vorrichtung zur Hervorbringung sogenannter complementärer Farben und Nachweisung, daſs die hiermit hervorgebrachten Farben objectiver Natur sind.* Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 694.

1834.

74. J. Müller. *Lehrbuch der Physiologie.* 2. Aufl. II. S. 372. — Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 144.

75. J. Plateau. Ann. de chim. et de phys. LVIII. S. 339. Pogg. Ann. XXXII. S. 543.

1835.

76. Tomlinson. *On the theory of accidental and complementary colours, with additional experiments and observations.* Thomson's Records of gen. sc. II. S. 283 u. IV. S. 208. (1836.)

1836.

77. Cooper. *On accidental colours and coloured shadows.* Thomson's Records. IV. S. 427.

78. Osann. *Ueber Ergänzungsfarben.* Pogg. Ann. XXXVII. S. 287.

79. Pohlmann. *Theorie der farbigen Schatten, vollständig entwickelt und durch Versuche begründet.* Pogg. Ann. XXXVII. S. 319—341.

80. J. Plateau. *Berichtigung, veranlaſst durch einen Aufsatz des Herrn Prof. Osann.* Pogg. Ann. XXXVIII. S. 626.

1837.

81. Osann. *Nachträgliche Bemerkungen zu meinem Aufsatz über Ergänzungsfarben.* Pogg. Ann. Bd. 42. S. 72.

1838.

82. *G. Th. Fechner. *Ueber die Frage, ob die sog. Farben durch den Contrast objectiver Natur seien.* Pogg. Ann. XLIV. S. 221—245 u. S. 513.

6383. H. W. Dove. *Ueber subjective Complementärfarben.* Pogg. Ann. XLV. S. 15

1839.

6384. E. Chevreul. *De la loi du contraste simultané des couleurs.* Strasbourg

1840.

6385. *G. Th. Fechner. *Thatsachen, welche bei einer Theorie der Farben durch trast zu berücksichtigen sind.* Pogg. Ann. Bd. 50. S. 433.

1841.

6386. Schaffgotsch. *Ueber einige Apparate für subjective Farbenerscheinunge* Ann. Bd. 54. S. 193.

1843.

6387. G. de Buffon. *Sur les couleurs accidentelles.* Mém. de Paris. S. 247.

1847.

6388. D. Ragona Scina. *Su taluni fenomeni che presentano i cristalli colorati.* Racc II. S. 207.

1848.

6389. H. W. Dove. *Ueber Scheiben zur Darstellung subjectiver Farben.* Pogg. An S. 524.

1851.

6390. E. Brücke. *Untersuchungen über subjective Farben.* Wien. Denkschr. I Pogg. Ann. LXXXIV. S. 418. Arch. d. sc. phys. et nat. XIX. S. 122.

6391. Sinsteden. *Ueber einen neuen Farbenkreisel zur Darstellung subjectiver Com farben und eine eigenthümliche Erscheinung, welche die Orangefarbe da* Pogg. Ann. Bd. 84. S. 45.

1852.

6392. A. Beer. *Ueber das überzählige Roth im Farbenbogen der totalen Reflexion ( farbe).* Pogg. Ann. LXXXVII. S. 113—115. Cosmos. II. S. 95.

1854.

6393. Czermak. *Physiologische Studien.* I. Theil. Wien. Acad. Ber. XII. S. 3 (Eine Modification des Scheiner'schen Versuches.)

1855.

6394. H. Meyer. *Ueber Contrast- und Complementärfarben.* Pogg. Ann. XCV. S. 1 Ann. de chim. (3.) XLV. S. 507. Philos. Mag. (4.) IX. S. 547.

1857.

6395. B. Bizio. *Sopra le ombre colorate.* Venezia.

6396. — *Intorno alle ombre colorate.* Memorie dell'Istituto Veneto di sc. letter VII. S. 393.

6397. E. Weicker. *De nonnullis coloribus complementariis quales singulis hominibus*

6398. A. Paalzow. *Ueber subjective Farben und die Entstehung des Glanzes.* Berl. M S. 390.

1858.

6399. E. Chevreul. *Note sur quelques expériences de contraste simultanée des couleur* Rend. XLVII. S. 196—198. Dingler Journ. CXLIX. S. 435—436.

6400. Fournet. *Note sur certaines colorations de la lune et du soleil.* Com XLVII. S. 189.

1859.

6401. Babinet. *Sur les ombres bleues du 27. mai 1856.* Compt. Rend. XLVIII.

6402. Fournet. *Recherches sur les ombres colorées qui se manifestent à diverses diverses saisons, et sur les applications du phénomène.* Compt. Rend S. 1105 u. XLIX. S. 24 u. 121.

6403. Poey. *Expériences sur les ombres prismatiques observées à La Havane e avec la déclinaison du soleil et l'état atmosphérique.* Compt. Rend. XLI

6404. Nardo. *Nota sulle ombre colorate ottenute col solo concorso di luce* Cimento. IX. S. 352—356. — Atti dell' Istit. Veneto. V. — Zeitschr. f. Ch S. 18—20.

6405. D. Ragona Scina. *Su taluni fenomeni di colorazione soggettiva.* Atti d Palermit. III. — Zeitschr. f. Chem. S. 20—24.

1860.

6406. H. Helmholtz. *Ueber die Contrasterscheinungen im Auge.* Verhandl. d. N med. Vers. zu Heidelberg. 27. April. Bd. II. S. 32—33.

6407. G. Th. Fechner. *Ueber die Contrastempfindung.* Leipziger Ber. S. 71—

8. G. Th. Fechner. *Einige Bemerkungen gegen die Abhandlung Prof. Osann's über Ergänzungsfarben.* Leipziger Ber. S. 146—165.
9. Osann. *Ueber Ergänzungsfarben.* Würzb. Zeitschr. I. S. 61—77.
10. J. J. Oppel. *Ueber farbige Schatten bewirkt durch weisses Licht.* Jahresber. d. Frankf. Vereins. 1859—1860. S. 65—69.
11. E. Chevreul. *Remarques sur une question relative à la loi du contraste simultané des couleurs.* Compt. Rend. LI. S. 448.
12. Goodchild. *Trocheidoscope.* Practical mechan. journ. April. S. 4.
13. Magrini. *Sulle ombre colorate studiate dal signor Bassolini.* Atti dell' Istituto Lombardo di sc. lettere ed arti, Milano. II. S. 318 u. 345.
14. Zöllner. *Ueber eine neue Beziehung der Retina zu den Bewegungen der Iris.* Pogg. Ann. CXI. S. 481 u. 660.

1861.

15. Newcomb. *On some illusions and other phenomena attendant on vision through coloured media.* Silliman's Journ. XXXI. S. 418.
16. Rossolini. *Sulle ombre colorate* Atti dell' Istit. Lombardo. II. 318—321.
17. H. Aubert. *Beiträge zur Physiologie der Netzhaut.* Abh. d. schles. Gesellsch. 1861. 1. S. 49—103. S. 344.

1862.

18. G. Th. Fechner. *Ueber den seitlichen Fenster- und Kerzenversuch.* Leipziger Ber. S. 27—56.

1863.

19. F. Burckhardt. *Ueber Contrastfarben.* Pogg. Ann. Bd. 118. S. 303.
20. E. Chevreul. *Nouvelles expériences sur le principe du contraste simultané des couleurs et de leur mélange, en réponse à un Mémoire de M. Plateau: Sur un phénomène de couleurs juxtaposées.* Compt. Rend. LVII. S. 713.
21. J. Plateau. *Sur un phénomène de couleurs juxtaposées.* Bull. de l'Acad. de Belg. (2.) XVI. S. 139.
22. — *Réponse aux observations présentées par M. Chevreul.* Compt. Rend. LVII. S. 1029.

1865.

23. F. Burckhardt. *Die Contrastfarben im Nachbilde.* Basler Verhandl. IV. S. 263 bis 285.
24. E. Brücke. *Ueber Ergänzungs- und Contrastfarben.* Wien. Sitzgs.-Ber. LI. 2. S. 461 bis 501.

1866.

25. F. Burckhardt. *Die Contrastfarben im Nachbilde.* Pogg. Ann. Bd. 129. S. 529—548.

1867.

26. A. Rollet. *Ueber die Aenderung der Farben durch den Contrast.* Wien. Ber. LV. (2.) S. 344—357.
27. — *Zur Physiologie der Contrastfarben.* Wien. Akad.-Ber. LV. Febr.-, März- u. Maiheft. S. 741—767.
28. — *Zur Lehre von den Contrastfarben und dem Abklingen der Farben.* Wien. Ber. Bd. 55. (2.) S. 424—432.

1868.

29. Braun. *Photographies de feuillage, et couleurs de contraste.* Les Mondes (2.) XVII. S. 62.

1869.

30. G. Th. Fechner. *Ueber die Contrastempfindung.* Ber. d. königl. sächs. Ges. d. Wiss. Math.-physik. Kl. Sitzung v. 1. Juli.
31. W. Benson. *Contrast and admixture of colours.* Scient. Americ. XX. S. 257—258.

1870.

32. L. Hermann. *Die Erscheinung simultanen Contrastes.* Pflüger's Arch. f. Physiol. III. S. 13—15.

1871.

33 J. K. Becker. *Zur Lehre von den subjectiven Farbenerscheinungen.* Pogg. Ann. Ergänzungsb. V. S. 305.
34. H. W. Dove. *Ueber die subjectiven Farben an den Doppelbildern farbiger Glasplatten.* Pogg. Ann. CXLIII. S. 491. Berl. Akad.-Ber. April.

6435. DUBRUNFAUT. *Sur quelques particularités des perceptions visuelles subjectives.* Mondes XXI. S. 77. — Compt. Rend. Bd. 73. S. 752.
6436. J. J. OPPEL. *Ueber chromatische Täuschungen, den relativen Werth bezeichnungen und das Zustandekommen unserer Farbenwahrnehmun* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1869/70. S. 96—105.
6437. TH. WARD. *Optical Phenomenon.* Nature IV. S. 68.

1872.

6438. J. AITKEN. *On colour and colour sensation.* Proc. of the roy. Scot. 1871—72.

1873.

6439. E. HERING. *Zur Lehre vom Lichtsinn. II. Ueber simultanen Lichtcon* Ber. (3.) LXVIII. S. 186—201.
6440. — *Zur Lehre vom Lichtsinn. III. Ueber simultane Lichtinducti successiven Contrast.* Wien Ber. (3.) LXVIII. S. 229—244.
6441. D. RAGONA SCINA. *Su taluni fenomeni di colorazione soggettiva.* Mem. Modena. XIV. S. 7.

1874.

6442. E. CHEVREUL. *Études des procédés de l'esprit humain dans la recherche II. L'enseignement devant l'étude de la vision, la loi du contraste simultan* Paris, Frimin-Didot frères, fils & Co.
6443. E. HERING. *Zur Lehre vom Lichtsinn. VI. Grundzüge einer Theorie sinnes.* Wien. Akad. Ber. LXX. (3.) S. 169.

1875.

6444. J. PLATEAU. *Sur les couleurs accidentelles ou subjectives.* Bull. de l'A Belgique. 2me. Ser. T. 39. No. 1. S. 100—119.
6445. C. SCHRÖDER. *Farbige Schatten.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XIII.
6446. J. STILLING. *Beiträge zur Lehre von den Farbenempfindungen.* Klin. Augenhlkde. Beilageheft. XIII.
6447. WHITMELL. *Coloured shadows.* Nature. XI. S. 406.

1876.

6448. J. PLATEAU. *Sur les couleurs accidentelles ou subjectives.* Bull. de l'A Belgique. 2. Ser. Tome XLII. No. 9, 10 u. 11.

1877.

6449. E. CHEVREUL. *Sur un phénomène de l'insolation de l'oeil, qui n'a poi expliqué.* Compt. Rend. LXXXIV. S. 895.

1878.

6450. H. COHN. *Ueber Contrastfarbenempfindung und die Unwahrscheinlichke stehung in historischer Zeit.* Allg. med. Centralztg. S. 399.
6451. — *Der Simultancontrast zur Diagnose der Farbenblindheit.* Centrall Augenhlkde. II. S. 35—36.
6452. GRAHAM. *On complementary colours.* Nature XVIII. S. 323.
6453. J. STILLING. *Farbige Schatten bei Tageslicht.* Centralbl. f. prakt. Auge S. 124.

1879.

6454. O. BECKER. *Farbige Schatten und inducirte Schatten.* Klin. Monatsbl. f. A XVII. S. 236.
6455. E. CHEVREUL. *Complément d'études sur la vision des couleurs.* Mém. d Sc. de Paris. XLI. S. 231.
6456. P. CINTOLESI. *Intorno alle immagini accidentali o suggettive.* Ann. di C 2 u. 3. — Nature XXI. S. 21. — Beibl. d. Psys. III. S. 711.

1881.

6457. E. DREHER. *Neue „subjective Wahrnehmungen" auf Grund von Contrast* Natur. No. 31. S. 371.
6458. W. J. HERSCHEL. *Effect of green in painted windows.* Nature XXIV
6459. L. MAUTHNER. *Ueber farbige Schatten, Farbenproben und erworbene Ery* Wien. med. Wochenschr. No. 38. 39.
6460. J. STILLING. *Simultancontrast bei Farbenprüfungen.* Centralbl. f. p hlkde. V. S. 129—131.
6461. E. SZILÁGYI. *Ueber Simultancontrast.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 47.

**1882.**

2. Cross. *Complementary colours.* Nature XXVII. S. 150.
3. Madan. *Complementary colours at the falls of Niagara.* Nature XXVII. S. 174.
4. J. Parinaud. *Du contraste chromatique.* Soc. de Biol. 22. Juli. — Gaz. des Hôp. S. 686.
5. — *Du siège cérébral des images accidentelles ou consécutives.* Soc. de Biol. 22. April. Gaz. des Hôp. S. 459.
6. Trécul. *Noir vu en rouge orangé.* Compt. Rend. XCV. S. 1198.
7. Whitmell. *A natural experiment on complementary colours.* Nature. XXVI. S. 573.

**1883.**

8. B. Schmerler. *Untersuchungen über den Farbencontrast vermittelst rotirender Scheiben.* Philos. Stud. I. S. 379—417.
9. E. Chevreul. *Considérations générales sur les méthodes scientifiques et applications à la méthode a posteriori de Newton et à la méthode a priori de Leibnitz.* Compt. Rend. Bd. 96. S. 1521—1545.

**1884.**

0. E. Chevreul. *Sur la vision dans ses rapports avec les contrastes des couleurs.* Compt. Rend. XCVIII. S. 1309.
1. G. H. Schneider. *Die psychologische Ursache der Contrasterscheinungen.* Zeitschr. für Philos. u. philos. Kritik. Bd. 85. S. 130—242.

**1885.**

2. S. Exner. *Ueber eine neue Urtheilstäuschung im Gebiete des Gesichtssinnes.* Pflüger's Arch. XXXVII. S. 520—522.
3. M. Heaton. *Le contraste des couleurs.* La Nature. XIII. 2. S. 110.
4. R. Hilbert. *Zur Physiologie der Retina.* Pflüger's Arch. XXXVII. S. 123—126.
5. — *Die subjectiven Farben und die Hering'sche Farbentheorie.* Betz's Memorabilien. XXX. (2.) N. F. V. S. 65.
6. Rampoldi. *Sopra alcuni fenomeni di contrasto visivo.* Ann. di Ottalm.

**1886.**

7. A. Charpentier. *Contraste simultané.* Progr. méd. No. 17. S. 354. Compt. Rend. CII. S. 864.
8. E. Hering. *Ueber Sigmund Exner's neue Urtheilstäuschung auf dem Gebiete des Gesichtssinnes.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXIX. S. 159—170.

**1887.**

9. H. Ebbinghaus. *Die Gesetzmäßigkeit des Helligkeitscontrastes.* Sitzgs.-Ber. d. Acad. d. Wiss. zu Berlin. II. S. 994.
0. S. Exner. *Gegenbemerkung, „eine neue Urtheilstäuschung im Gebiete des Gesichtssinnes" betreffend.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol XL. S. 323.
1. E. Hering. *Ueber den Begriff „Urtheilstäuschung" in der physiologischen Optik und über die Wahrnehmung simultaner und successiver Helligkeitsunterschiede.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLI. S. 91.
2. — *Ueber die Theorie des simultanen Contrastes von Helmholtz.* I. Mittheilung. *Der Versuch mit den farbigen Schatten.* Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 172—191.
3. — *Ueber die Theorie des simultanen Contrastes von Helmholtz.* II. Mittheilung. *Der Contrastversuch von H. Meyer und die Versuche am Farbenkreisel.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLI. S. 1—29.
4. — *Ueber die Theorie des simultanen Contrastes von Helmholtz.* III. Mittheilung. *Der Spiegelcontrastversuch.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLI. S. 358—367.

**1888.**

5. D. Axenfeld. *Sulla visione dei colori di contrasto.* Bull. della R. Accad. Med. di Roma. XIV. 7.
6. E. Hering. *Ueber die Theorie des simultanen Contrastes von Helmholtz.* IV. Mittheilung. *Die subjective „Trennung des Lichtes in zwei complementäre Portionen."* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLIII. S. 1—21.
7. — *Eine Vorrichtung zur Farbenmischung zur Diagnose der Farbenblindheit und zur Untersuchung der Contrasterscheinungen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 42. S. 119.

**1889.**

8. D. Axenfeld. *Sur la vision des couleurs de contraste.* Arch. ital. de Biol. XI. S. 81 bis 90.
9. O. N. Rood. *On colour contrast.* Mind. XV. S. 312.

1890.

6490. E. Chevreul. *De la loi du contraste simultané des couleurs et de l'assortiment colorés considéré d'après cette loi dans ses rapports avec la peinture etc.* Paris. Villars et fils.

6491. E. Hering. *Eine Methode zur Betrachtung des Simultancontrastes.* Pflüg XLVII. S. 236—242.

6492. — *Beitrag zur Lehre vom Simultancontrast.* Zeitschr. f. Psychol. I. S. 18—28

6493. A. Kirschmann. *Ueber die qantitativen Verhältnisse des simultanen Helligk Farbencontrastes.* Philos. Stud. VI. S. 417—491. — Leipzig, Dissert.

1891.

6494. A. Kirschmann. *Die psychologisch-ästhetische Bedeutung des Licht- und contrastes.* Wundt's Philos. Stud. VII. S. 362—393.

6495. A. Rollet. *Versuche über subjective Farben.* Pflüger's Arch. XLIX. S. 1—

1892.

6496. R. Hilbert. *Zur Kenntniſs des successiven Contrastes.* Zeitschr. f. Psychol. bis 77.

6497. A. Kirschmann. *Some effects of contrast.* Americ. Journ. of Psychol. IV. 4. S.

1893.

6498. R. Katz. *Ueber die Empfindlickeit des Auges für simultanen und succeda contrast.* Diss. St. Petersburg.

6499. A. A. Mayer. *Studies of the Phenomena of Simultaneous Contrast Colou a Photometer for Measuring the Intensities of Lights of different Colours* Mag. XXXVI. No. 219. S. 153—175. — Amer. Journ. of science. Vol. XL

1894.

6500. W. de W. Abney. *Measurement of colour produced by contrast.* Proc. of th Roy. Soc. LVI. No. 337. S. 221—229.

6501. C. Hess und H. Pretori. *Messende Untersuchungen über die Gesetzmäſs simultanen Helligkeitscontrastes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XL. 4. S. 1—2

---

## § 25.

## Verschiedene subjective Erscheinungen.

Auſser den hier aufgeführten Abhandlungen ist auch ein Theil der in § 15 angegebenen L zu berücksichtigen.

1816.

6502. *Ueber physiologe Gesichts- und Farbenerscheinungen.* Schweigger's Arch. S. 121—157.

1834.

6503. D. Brewster. *On the influence of successive impulses of light upon th* Philos. Mag. IV. S. 241—245.

6504. M. Griffiths. *Observations on the vision of the retina.* Phil. Mag. IV. S

1839.

6505. A. A. Ewerbeck. *De phaenomenis opticis subjectivis.*

1844.

6506. W. Haidinger. *Ueber das directe Erkennen des polarisirten Lichts.* Po LXIII. S. 29.

1846.

6507. W. Haidinger. *Ueber complementare Farbeneindrücke bei Beobachtung d polarisationsbüschel.* Pogg. Ann. LXVII. S. 435.

6508. — *Beobachtung der Lichtpolarisationsbüschel in geradlinig polarisirtem* Pogg. Ann. LXVIII. S. 73.

6509. W. Haidinger. *Beobachtung der Lichtpolarisationsbüschel auf Flächen, welche das Licht in zwei senkrecht auf einander stehenden Richtungen polarisiren.* Pogg. Ann. LXVIII. S. 305.

6510. Silbermann. *Essai d'explication des houppes ou aigrettes visibles à l'oeil nu dans la lumière polarisée.* Compt. Rend. XXIII. S. 624. Inst. No. 665. S. 327.

1847.

6511. v. Erlach. *Mikroskopische Beobachtungen über organische Elementartheile bei polarisirtem Licht.* Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 313.

6512. W. Haidinger. *Helle Andreaskreuzlinien in der Sehaxe.* Ber. d. Freunde d. Naturwiss. in Wien. II. S 178. Pogg. Ann. LXX. S. 403.

6513. Botzenhart. *Polarisationsbüschel am Quarz.* Ber. d. Freunde d. Naturwiss. in Wien. I. S. 82.

6514. — *Sur une modification des houppes colorées de Haidinger.* Compt. Rend. XXIV S. 44. Inst. No. 680. S. 11. Pogg. Ann. LXX. S. 399.

1848.

6515. Jamin. *Sur les houppes colorées de Haidinger.* Compt. Rend. XXVI. S. 197. Pogg. Ann. LXXIV. S. 145. Inst. No. 787. S. 53.

1850.

6516. D. Brewster. *On the polarizing structure of the eye.* Sill. Journ. (2.) X. S. 394. Rep of British Assoc. II. S. 5. Wien. Ber. V. S. 442.

6517. G. G. Stokes. *On Haidinger's brushes.* Sill. Journ. (2.) X. S. 394. Rep. of British Assoc. II. S. 20.

6518. W. Haidinger. *Das Interferenzschachbrettmuster und die Farbe der Polarisationsbüschel.* Wien. Ber. VII. S. 389. Pogg. Ann. LXXXV. S. 350. Cosmos. I. S. 252. 454.

1852.

6519. W. Haidinger. *Die Loewe'schen Ringe eine Beugungserscheinung.* Wien. Ber. IX. S. 240—249. Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 451—461.

1854.

6520. A. Burow. *Der gelbe Fleck im eigenen Auge sichtbar.* J. Müller's Arch. S. 166.

6521. W. Haidinger. *Dauer des Eindrucks der Polarisationsbüschel auf der Netzhaut.* Wien. Ber. XII. S. 678—680. Pogg. Ann. XCIII. S. 318—320.

6522. — *Beitrag zur Erklärung der Farben der Polarisationsbüschel durch Beugung.* Wien. Ber. XII. S. 3—9. Pogg. Ann. XCI. S. 591—601.

6523. — *Einige neuere Ansichten über die Natur der Polarisationsbüschel.* Wien. Ber. XII. S. 758—765. Pogg. Ann. XCVI. S. 314—322.

6524. G. G. Stokes. *Ueber das optische Schachbrettmuster.* Wien. Ber. XII. S. 670—677. Pogg. Ann. XLVI. S. 305—313.

1855.

6525. H. Meyer. *Ueber den die Flamme eines Lichtes umgebenden Hof, sowie Beiträge zu „Unempfindlichkeit der Netzhaut in der Nähe starker Lichteindrücke", „Mondhöfe", „Löwe'sche Ringe" u. s. w.* Pogg. Ann. Bd. 96. S. 235.

1856.

6526. J. C. Maxwell. *On the unequal sensibility of the foramen centrale to light of different colours.* Athen. S. 1093. Edinb. Journ. (2.) IV. S. 337. Inst. S. 444. Rep. of Brit. Assoc. II. S. 12.

1857.

6527. F. W. Pieper. *De phantasmatibus nervi optici.* Halle.

1858.

6528. Power. Philos. Mag. (4.) XVI. S. 69.

1859.

6529. D. Brewster. Compt. Rend. XLVIII. S. 614. — Pogg. Ann. Bd. 107. S. 346.

6530. H. Müller. *Ueber die elliptischen Lichtstreifen von Purkinje.* Verhandl. der Würzburger phys.-med. Ges. IX. S. 30.

1860.

6531. J. Czermak *Ueber die entoptische Wahrnehmung der Stabchen- und Zapfenschicht.* Wien. Ber. XLI. S. 644—648.

1861.

6532. J. Czermak. *Zur objectiven Erklärung einiger sogenannten subjectiven Gesichtserscheinungen.* Wien. Ber. XLIII. (2.) S. 163—174.

559. A. Riccò. *Fenomeno di colorazione soggettiva prodotto dalla luce palpebrale.* Ann. di Ottalm. XIII. S. 452.

**1885.**

560. D. Goyder. *On a peculiar retinal light and its probable cause.* Med. Press. a. Circ. XXXVIII. S. 4.

561. Ad. Olshausen. *Entoptische Untersuchung eines centralen Blendungs-Scotoms nebst einigen die Macula lutea betreffenden anatomischen und physiologischen Beobachtungen und Betrachtungen.* Diss. Halle.

**1886.**

562. J. Colasanti und G. Mengarini. *Il fenomeno spectrale fisiologico.* Lincei Mem. (4) III. S. 65—77.

563. Cross. *Abnormal visual sensations.* Americ. Journ. of the med. sc. No. 184. S. 415.

564. S. Exner. *Zwei subjective Erscheinungen im Gebiete des Gesichtssinnes.* Protok. d. Sitzg. d. chem.-phys. Ges. zu Wien vom 8. Dec. 1885.

565. Rampoldi. *Sopra un fenomeno visivo suscitato dalla atropina; osservazioni e sperimenti.* Ann. univ. di med. e chir. CCLXXV. S. 113.

**1887.**

566. C. Addario. *Su di una imagine endottica intraretinica.* Ann. di Ottalm. XVI. S. 476.

567. A. Charpentier. *Quelques phénomènes entoptiques.* Arch. d'Ophthalm. VII. S. 209.

**1888.**

568. C. Addario. *Sul significato anatomico di una immagine endottica a mosaico d'esagoni.* Ann. di Ottalm. XVII.

569. J. Colasanti und G. Mengarini *Das physiologische Spectralphänomen.* Moleschott's Unters. zur Naturl. XIII. 6. S. 451.

570. R. Geigel. *Ueber Reflexion des Lichtes im Innern des Auges und einen neuen Versuch zur Erklärung der Haidinger'schen Polarisationsbüschel.* Wiedemann's Ann. XXXIV. S. 347—361. — Sitzgs.-Ber. d. Würzb. phys.-med. Ges.

**1889.**

571. Rampoldi. *Sopra un fenomeno subiettivo della visione.* Ann. di Ottalm. XVIII. 6. S. 487.

**1890.**

572. A. Charpentier. *Coloration entoptique du champ visuel en pourpre violet.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 6. Juni S. 310

573. J. le Conte. *On a Curious Visual Phenomenon.* Americ. Journ. of Psychol. III. S. 364—366.

**1892.**

574. E. Baquis. *Alcuni fenomeni subjettivi della visione.* Ann. di Ottalm. XXI. — Ann. d'ophthalm. XII. 5. S. 274

575. G. L. Johnson. *Bemerkungen uber die Macula lutea.* Arch. f. Augenheilkde. XXV. S. 157—175.

**1893.**

576. M. Kuffer. *Flimmerskotom und entoptische Erscheinungen.* Diss. Erlangen. 91 S.

**1894.**

577. Tschiriew. *Eine neue entoptische Erscheinung.* Wjestnik Ophthalm. No. 6.

## § 26.

## Von den Wahrnehmungen im Allgemeinen.

**Hier ist nur die ältere Litteratur einigermaßen vollständig aufgeführt; hinsichtlich der neuere muß auf die Zusammenstellungen in den entsprechenden philosophischen Werken verw werden. — Siehe auch die Litteratur von § 33.**


**1637.**

6578. Cartesius. *Dioptrice.* Oeuvres publiées par V. Cousin. T. V.

**1644.**

6579. Cartesius. *Principia Philosophiae.* T. III.

**1703.**

6580. Leibnitz. *Nouveaux essais sur l'entendement humain.* Opera philos. ed. I. S. 194.

**1709.**

6581. Berkeley. *Theory of vision.* London.

**1720.**

6582. Locke. *Essai sur l'entendement humain.* Trad. de l'Anglais. Londres. L.
6583. Hume. *Untersuchungen über den menschlichen Verstand.*

**1787.**

6584. J. Kant. *Kritik der reinen Vernunft.* 2. Aufl. Riga.

**1811.**

6585. Steinbuch. *Beiträge zur Physiologie der Sinne.* Nürnberg.

**1816.**

6586. J. F. Herbart. *Lehrbuch zur Psychologie.* Seine Werke, herausgeg Hartenstein. Leipzig. 1850 V.

**1825.**

6587. Herbart. *Psychologie als Wissenschaft.* Sämmtliche Werke. VI.

**1826.**

6588. Joh. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig.

**1849.**

6589. Th. Waitz. *Lehrbuch der Psychologie als Naturwissenschaft.* Braunschw

**1852.**

6590. H. Lotze. *Medicinische Psychologie.* Leipzig.

**1856.**

6591. H. Lotze. *Mikrokosmus.* Leipzig.

**1858.**

6592. Kosack. *Auslegung der Gesichtsempfindungen gegenüber dem modernen Sen* Nordhausen.

**1861.**

6593. C. S. Cornelius. *Die Theorie des Sehens und räumlichen Vorstellens.* Hal
6594. M. J. Schleiden. *Zur Theorie des Erkennens durch den Gesichtssinn.* Le
6595. A. Nagel. *Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen stellen.* Leipzig und Heidelberg.

**1861—64.**

6596. E. Hering. *Beiträge zur Physiologie.* Leipzig.

**1862.**

6597. W. Wundt. *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* Leipzig und H Abgedruckt aus der Zeitschr. f. rat. Med. 1858—1862.

**1863.**

6598. A. Classen. *Das Schlußverfahren des Sehactes.* Rostock.
6599. E. Hering. *Ueber Dr. A. Classen's Beitrag zur physiologischen Optik.* pathol. Anat. u. Physiol. VIII. 2. S. 179.

**1864.**

6600. C. S. Cornelius. *Zur Theorie des Sehens.* Halle.

1. J. Dastich. *Ueber die neueren physiologisch-psychologischen Forschungen im Gebiete der menschlichen Sinne.* Prag.

**1866.**

2. H. Ulrici. *Gott und der Mensch. I.: Leib und Seele, Grundzüge einer Psychologie des Menschen.* Leipzig.

**1868.**

3. E. Leydfn. *Ueber die Sinneswahrnehmungen.* Berlin.

**1871.**

4. A. Verstraete. *Note sur la question de savoir de quelle manière nous acquérons par la vue la connaissance des corps.* Bull. de Brux. XXXII. (2.) S. 155.

**1872.**

5. Zöllner. *Die Theorie der unbewufsten Schlüsse in ihrer Anwendung auf die Gesichtswahrnehmungen.* S. 378 seines Werkes: Ueber die Natur der Kometen. Leipzig.

**1873.**

6. C. Stumpf. *Ueber den physiologischen Ursprung der Raumvorstellung.* Leipzig. 324 S.

**1876.**

7. O. Liebmann. *Zur Analysis der Wirklichkeit.* Daraus: Zur Theorie des Sehens. S. 128—169. Strafsburg, Trübner.

**1877.**

8. S. Stricker. *Untersuchungen über das Ortsbewufstsein und dessen Beziehungen zu der Raumvorstellung.* Wien. Sitzgs.-Ber. LXXVI. (3. Abth.)

**1878.**

9. Dönhoff. *Ueber angeborene Vorstellungen bei den Thieren.* Arch. f. (Anat. u.) Physiol. S. 387.

0. H. Helmholtz. *Die Thatsachen in der Wahrnehmung.* Berlin, Univers. Programm.

1. S. Stricker. *Untersuchungen über das Ortsbewufstsein und dessen Beziehungen zur Raumvorstellung.* Wien. Sitzgs.-Ber. LXXVI. (3.) Nov.-Heft.

**1879.**

2. H. Helmholtz. *Die Thatsachen in der Wahrnehmung.* Berlin, Hirschwald. 68 S.

3. E. Jaesche. *Das räumliche Sehen.* Stuttgart, Enke. 130 S.

4. P. R. Schuster. *Giebt es unbewufste und vererbte Vorstellungen?* Herausgegeb. von Zöllner. Leipzig. 83 S.

**1880.**

5. Bibart. *Une expérience d'optique physiologique.* Journ. de phys. IX. S. 199—200.

6. Dufour. *Sur l'expériencce des sens.* Bull. de la soc. méd. de la Suisse Romande.

**1881.**

7. F. Celler. *Ueber Gesichtswahrnehmungen.* Presb. Verhandl. 1875—1880. S. 21—60.

**1882.**

8. E. v. Fleischl. *Localzeichen und Organgefühle.* Med. Jahrb. S. 91.

9. — *Physiologisch-optische Notizen.* 1. Mittheilung. Sitzgs.-Ber. d. k. Acad. d. Wiss. LXXXIII. 3. Abth. (Sitzg. v. 17. März 1881.)

0. A. Genzmer. *Untersuchungen uber die Sinneswahrnehmungen der neugeborenen Menschen.* Halle. 28 S.

**1883.**

1. L. Borthen. *Einige Bemerkungen über Wahrnehmung und Vorstellung.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 461.

**1884.**

2. Th. Loewy. *Die Gemein-Ideen des Gesichts- und Tastsinnes.* Leipzig 1884. — Philos. Mag. (5.) XVII. S. 403—406.

**1886.**

3. H. de Varigny. *Le développement des sens, chez l'enfant, d'après M. Preyer.* Rev. Scientif. XXXVIII. S. 401.

**1887.**

4. J. Jastrow. *Die Wahrnehmung des Raumes durch verschiedene Sinne.* John's Hopk. Univ. Circul. VI. S. 53.

**1888.**

5. Ch. Dunan. *L'espace visuel et l'espace tactile.* Rev. Philos. XIII. 2. S. 134.

6. E. Rehfisch. *Sinneswahrnehmung und Sinnestäuschung.* Berlin, Fried & Co.

7. G. K. Uphues. *Wahrnehmung und Empfindung.* Leipzig, Duncker & Humblot. 289 S.

1889.

6628. D. Axelfeld. *Intorno all' origine della nozion* VIII. S. 349.

6629. J. Loeb. *Untersuchungen über die Orientirun Blickraum.* Pflüger's Arch. XLIV. S. 1.

1890.

6630. H. Spencer. *Our Space-Conciousness: A Reply*

1891.

6631. E. L. Fischer. *Theorie der Gesichtswahrnehmu*

6632. C. Reymond. *Le arti figurative ed un vecch* Torino, Paravia & Co.

6633. Rudzki. *Ueber ein angeborenes Gefühl der Kar* Centralbl. XI. No. 2. S. 63.

1892.

6634. A. Farges. *La critique de* K a n t *sur l'espace* (N. S.) XXVI. S. 456—475.

6635. G. Hirth. *Das plastische Sehen als Rindenz* 80 S. mit 50 Textill. u. 34 Tafeln mit stereos

6636. C. Stumpf. *Zum Begriff der Localzeichen.* Ze

1894.

6637. H. v. Helmholtz. *Ueber den Ursprung der richt* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 81—96.

6638. E. Milhaud. *La projection externe des images* S. 210—222.

---

## § 27.

## Die Augenbewegu

1823.

6639. Bell. *On the motions of the eye.* Philos. Tr

1826.

6640. Joh. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie d*

1836.

6641. A. W. Volkmann. *Neue Beiträge zur Physiolo*

1838.

6642. Hueck. *Die Axendrehung des Auges.* Dorpat.

1840.

6643. Szokalski. *De l'influence des muscles oblique paralysie.* Ann. et Bull. de la Soc. de méd. d

6644. Tourtual. M ü l l e r's Arch. f. Anat. u. Physiol., i

1842.

6645. A. Burow. *Beiträge zur Physiologie und Physi*

6646. Valentin. *Repertorium.* S. 407.

6647. C. F. Krause. *Handbuch der menschlichen Ana*

1843.

6648. A. W. Volkmann. *Revision einiger in meinen B sinnes aufgestellten Lehrsätze.* Müller's Arch. S

6649. Szokalsky. Compt. Rend.

1844.

6650. Valentin. *Lehrbuch der Physiologie des Mensch*

1846.

6651. Tourtual. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol.

6652. Th. Ruete. *Lehrbuch der Ophthalmologie.* S. 1

53. Th. Ruete. *Das Ophthalmotrop.* S. 9. Göttingen.
54. F. C. Donders. Nederl. Lancet. August.
55. A. W. Volkmann. Artikel: *Sehen* in Wagner's Handwörterb. d. Physiol. III. S. 337 bis 358. S. 281—290.

1847.

56. F. C. Donders. *Beitrag zur Lehre von den Bewegungen des menschlichen Auges.* Holländ. Beitr. z. d. anat. und physiol. Wiss. I, S. 104—145; 384—386.

1848.

57. F. C. Donders. *Noch etwas über Hueck's vermeintliche Axendrehung des Auges.* Holl. Beiträge. I. S. 384.

1854.

58. G. Meissner. *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans.* Leipzig.
59. Czermak. *Ueber Abhängigkeit der Accommodation und Convergenz.* Wien. Ber. XII. S. 337—358; XV. S. 438—454.
60. A. Fick. *Die Bewegungen des menschlichen Augapfels.* Zeitschr. f. rat. Med. IV. S. 801.

1855.

61. G. Meissner. *Zur Lehre von den Bewegungen des Auges.* Arch. f. Ophthalm. II. (1.) S. 1—123.

1856.

62. G. Meissner. *Jahresbericht über die Fortschritte der Physiologie.* Zeitschr. f. ration. Med. 1856 und die folgenden Jahrgänge.

1857.

63. Th. Ruete. *Ein neues Ophthalmotrop.* Leipzig.

1858.

64. A. Fick. *Neue Versuche über die Augenstellungen.* Moleschott's Unters. z. Naturlehre d. Menschen. V. S. 193.

1859.

65. G. Meissner. *Ueber die Bewegungen des Auges, nach neuen Versuchen.* Zeitschr. f. rat. Med. (3) VIII. S. 1.
66. F. v. Recklinghausen. *Netzhautfunctionen.* Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 127.
67. W. Wundt. *Ueber die Bewegungen des Auges.* Verhandl. d. nat.-med. Ver. zu Heidelberg.

1860.

68. H. Aubert. *Eine scheinbare bedeutende Drehung von Objecten bei Neigung des Kopfes nach rechts oder links.* Virchow's Arch. XX. S. 381.

1862.

69. W. Wundt. *Ueber die Bewegungen der Augen.* Arch. f. Ophthalm. VIII. (2.) S. 1—87.
70. — *Beschreibung eines künstlichen Augenmuskelsystems zur Untersuchung der Bewegungsgesetze des menschlichen Auges im gesunden und kranken Zustande.* Arch. f. Ophthalm. VIII. (2.) S. 88—114.
71. F. C. Donders und D. Doijer. *Die Lage des Drehpunktes des Auges.* Arch. f. d. Holländ. Beitr. III. S. 560. — Derde Versl. Gast. v. Oogl. S. 209.

1863.

72. H. Helmholtz. *Ueber die Bewegungen des menschlichen Auges.* Verhandl. d. Naturhist. med. Ver. zu Heidelberg. Bd. III. S. 62—67.
73. — *Ueber die normalen Bewegungen des menschlichen Auges.* Arch. f. Ophthalm. IX. (2.) S. 153—214.
74. E. Hering. *Beiträge zur Physiologie.* 3. u. 4. Heft. Leipzig. (Kritisches gegen Meissner u. Helmholtz.)
75. J. B. Schuurman. *Vergelijkend Onderzoek der Beweging van het Oog bij Emmetropie en Ametropie.* Dissert. Utrecht. — Vijde Versl. Gast. v. Oogl. 1864. S. 1.

1864.

76. H. Helmholtz. *On the normal motions of the human eye in relation to binocular vision.* Proc. of London Roy. Soc. Vol. XIII. S. 186—199.
77. Giraud-Teulon. Compt. Rend. LVIII. S. 361 über Drehpunkt.
78. E. Hering. *Die sog. Raddrehung des Auges in ihrer Bedeutung für das Sehen bei ruhendem Blick.* Reichert's und du Bois' Arch. S. 278.

6704. M. Woinow. *Ueber die Raddrehungen des menschlichen Auges.* (Russisch.) Sitzgs.-Ber. d. phys.-med. Ges. in Moskau. XII.
6705. — *Ueber den Drehpunkt des Auges.* Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 243.

**1871.**

6706. G. F. W. Baehr. *Sur le mouvement de l'oeil.* Arch. néerl. VI. S. 127—161.
6707. E. Berlin. *Beitrag zur Mechanik der Augenbewegungen.* Arch. f. Ophthalm. XVII. (2.) S. 154. — Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 545. (Vorl. Mitth.)
6708. E. Hitzig. *Ueber die beim Galvanisiren des Kopfes entstehenden Störungen der Muskelinnervation und der Vorstellungen vom Verhalten im Raume.* Reichert u. du Bois Reymond's Arch. S. 716—770.
6709. — *Weitere Untersuchungen zur Physiologie des Gehirns.* Reichert u. du Bois-Reymond's Arch. S. 771—772. — Berl. klin. Wochenschr. 1872. S. 504.
6710. J. Mannhardt. *Ueber das Convergenzvermögen, dessen Leistungen, Bedingungen und Wirkungen.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 429—437.
6711. J. J. Müller. *Ueber den Einfluss der Raddrehung der Augen auf die Wahrnehmung der Tiefendimension.* Ber. d. sächs. Gesellsch. d. Wiss. 6. Mai 1871. S. 125—184.
6712. A. Nagel. *Ueber das Vorkommen von wahren Rollungen des Auges um die Gesichtslinie.* Arch. f. Ophthalm. XVII. (1.) S. 237.
6713. Savary. *De l'esprit d'observation dans les sciences médicales appliqué à l'étude de la physiologie des muscles de l'oeil et des paralysies musculaires.* Thèse de Paris.
6714. A. Skrebitzky. *Ein Beitrag zur Lehre von den Augenbewegungen.* Arch. f. Ophthalm. XVII. 1 S. 107.
6715. M. Woinow. *Beiträge zur Lehre von den Augenbewegungen.* Arch. f. Ophthalm. XVII. 2. S. 233.
6716. — *Ueber die Raddrehung des Auges.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 387—391.

**1872.**

6717. W. Dobrowolsky. *Ueber Rollung der Augen bei Convergenz und Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 53—66.
6718. F. C. Donders. *Ueber angeborene und erworbene Association.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. 2. S. 153—164.
6719. Fano. *Note sur les fonctions du muscle grand oblique de l'oeil.* Union médicale. 31 août. Journ. d'Opht. S. 528.
6720. v. Hasner. *Die Applicationsgesetze der monocularen Bewegung.* Prager Viertel-jahrsschr. Bd. IV. S. 111—128.
6721. Kostareff. *De la rotation de l'oeil sur l'axe optique.* Inaug.-Diss. Moscou.
6722. Le Conte. *Rotation of the eye on the optic axis.* Americ. Journ. of sc. and arts. II. Ser. Vol. 47. S. 153—168.
6723. J. Samelsohn. *Zur Frage von der Innervation der Augenbewegungen.* Arch. für Ophthalm. XVIII. (2.) S. 142—152

**1873.**

6724. A. Chodin. *Zur Lehre vom Drehpunkte in Augen verschiedener Refraction.* (Russisch.) Diss. Petersburg.
6725. F. C. Donders. *Versuch einer genetischen Erklärung der Augenbewegungen* Pflüger's Arch. VIII. S. 373.
6726. — *De primaire standen van het oog: a vor evenwijdige, b vor convergente blicklijnen.* Onderzoekingen ged. in het Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogesch. Derde R. II. S. 380. — Nederl. Gasthuis v. oogl. S 8—13
6727. A. Genzmer. *Untersuchungen über die Sinneswahrnehmungen des neugeborenen Menschen.* Inaug.-Diss Halle.
6728. J. v. Hasner. *Ueber den Seitenblickwinkel.* Wien. med. Wochenschr. No. 21.
6729. — *Beiträge zur Physiologie und Pathologie des Auges etc. Die Applicationsgesetze der monocularen Bewegung. Theorie der parallelen Blicklinien.* S. 15—39.
6730. L. Hermann. *Ein Apparat zur Demonstration der aus dem Listingschen Gesetz folgenden scheinbaren Raddrehungen.* Pflüger's Arch. VIII. S. 305—306.
6731. E. Hitzig. *Zur Physiologie des Gehirns.* Berliner med psych. Ges. 7. Juli 1873. Berl. Klin. Wochenschr. No 52 S. 621.
6732. M. Woinow. *Augenbewegungen.* (Russisch. St. Petersburg.

**1874.**

6733. J. Breuer. *Ueber die Function der Bogengänge des Ohrlabyrinths.* Med. Jahrbücher der Wiener Aerzte. S. 72—124.

6734. S. Exner. *Menière'sche Krankheit bei Kaninchen. Ein Versuch über Tr Kreuzung.* Sitz.-Ber. d. Wien. Akad. Math.-naturwiss. Cl. 70. III. Abth. S.
6735. Mulder. *Over parallele Rolbewegingen der oogen.* Onderzoekingen ged Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogesch. Derde R. III. 1. S. 118.
6736. W. Schön. *Zur Raddrehung.* I. Mittheilung. Arch. f. Ophthalm. XX. (2 u. 308.
6737. C. Stark. *Ein Beitrag zur Lehre von den motorischen Innervationsherde Rinde der vorderen Centralwindung des Menschen.* Berl. klin. Wochenschr
6738. J. L. Tupper. *On the centre of motion in the human eye.* Proc. of the R of London. XXII. S. 429.

1875.

6739. F. C. Donders. *Naschrift over de wet der ligging van het netvlies in betrekki van het blikvlak.* Onderzoekingen ged. in het Phys. Lab. d. Utrecht'sche H 3. R. III. S. 185—189. — XVII. Versl. van het Nederl. Gasth. v. Oogl. S
6740. — *Ueber das Gesetz von der Lage der Netzhaut in Beziehung zu der Blickebe* f. Ophthalm. XXI. (1.) S. 125.
6741. — *Die correspondirenden Netzhautmeridiane und die symmetrischen Rollbe* Graefe's Arch. XXI. (3.) S. 100—132. — Onderz. etc. 3. Reihe. III. (2.) S.
6742. Giraud-Teulon. *Ueber das Gesetz der Rotation bei combinirten Bewegu Auges.* Ann. d'Oculist. LXXIV. S. 113.
6743. A. Graefe. *Motilitätsstörungen des Auges.* Graefe-Sämisch, Handbuch Augenheilkde. Bd. VI, Cap. 9. Leipzig.
6744. Mulder. *Ueber parallele Rollbewegungen der Augen.* Arch. f. Ophthalm. S. 68.
6745. P. L. Panum. *Bestemmelsen af Afstanden i mellen bägge öjnes Omdrejning* Nord. med. Ark. VII. No. 9.
6746. Ritzmann. *Ueber die Verwendung von Kopfbewegungen bei den gewöhnlich bewegungen.* Arch. f. Ophthalm. XXI. (1.) S. 131.
6747. W. Schön. *Zur Raddrehung.* II. Mittheil. Graefe's Arch. f. Ophthalm. S. 205—212.
6748. — *Apparat zur Demonstration des Listing-Donders'schen Gesetzes.* Klin. M f. Augenheilkde. XIII. S. 430—435.
6749. Weiss. *Zur Bestimmung des Drehpunktes im Auge.* Arch. f. Ophthalm. X S. 132—186.

1876.

6750. E. v. Cyon. *Rapports physiologiques entre le nerf acoustique et l'appareil m l'oeil.* Acad. des Sciences. 10. Avril. — Recueil d'Ophth. S. 175. — Ann T. 75. S. 171.
6751. F. C. Donders. *Korte Beschrijving van eenige Werktuigen en Toestellen tot de van het Physiologisch Laboratorium en het Nederlansch Gasthuis voor Oogl hoorende.* Onderzoekingen in het Physiolog. Laborat. te Utrecht. Derd IV, 1. S. 1—30.
6752. — *Versuch einer genetischen Erklärung der Augenbewegungen.* Pflüger Bd. XIII. S. 373—421. — Utrecht'sche Onderzoekingen. Derde R. D. IV. bis 94. XVII. — Versl. van het Nederl. Gasth. etc. S. 73—136. — Ann. d. LXXV. S. 213—237.
6753. E. L. Holmes. *Ueber die Stellung der Augäpfel bei geschlossenen Lidern.* Augen- u. Ohrenheilkde. V. S. 374—475.
6754. E. Landolt. *Tableau synoptique des mouvements des yeux.* Delahaye, Pari
6755. L. Mauthner. *Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges.* S. 634—
6756. M. E. Mulder. *Over parallele rollbewegingen der oogen.* Zeventiende Ve het Nederl. Gasth. etc. S. 1—67.
6757. W. Nicati. *Ueber das Tropometer (Instrument zur Messung der Augenbew* Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzte. VI. No. 15. S. 458.
6758. Prengrüber. *Physiologie des muscles de l'oeil et leurs paralysies.* Thèse d
6759. Schiaparelli. *Di alcune questioni concernenti il movimento degli occhi.* Ottalm. V. S. 243—262.
6760. E. Ritzmann. *Ueber die Verwendung von Kopfbewegungen bei den gewö Blickbewegungen.* Onderzoekingen, Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogesch. I IV. S. 95—113.

**1877.**

**6761.** F. C. Donders. *Essai d'une explication génétique des mouvements oculaires.* (Suite.) Annal. d'Oculist. T. 77. S. 5 u. 97.

**6762.** Féréol. *Association synergique des deux yeux, persistant malgré la paralysie de la sixième paire d'un côté.* Gaz. des hôp. No. 90. 93. 98.

**6763.** A. Graefe. *Ophthalmotrop.* Amtl. Ber. d. 50. Vers. d. Naturf. u. Aerzte zu München. S. 332.

**6764.** Laborde. *L'influence du bulbe rachidien sur les mouvements associés des yeux.* Gaz. méd. de Paris. No. 3 u. 5.

**6765.** Laborde, Duval u. Graux. *Sur quelques points de la physiologie du bulbe rachidien.* Gaz. des hôp. S. 142.

**6766.** Mercier. *Independant movements of the eyes under chloroform.* Brit. med. Journ. No. 845.

**6967.** W. Nicati. *Méthode pour mesurer le champ du regard: Le Tropopérimètre.* Gaz. Méd. de Paris. S. 324. — Gaz. d. Hôpit. S. 556.

**6768.** E. Rählmann u. L. Witkowsky. *Ueber atypische Augenbewegungen.* du Bois-Reymond's Arch. S. 454.

**6769.** Warner. *Loss of associated movements of the eyes under chloroform and in disease.* Brit. med. Journ. No. 845.

**6770.** W. v. Zehender. *Methode, die Distanz der Augendrehpunkte mit Hülfe der sogenannten Tapetenbilder zu bestimmen.* Amtl. Ber. d. 50. Vers. d. Naturf. u. Aerzte zu München. S. 332.

**1878.**

**6771.** M. Duval. *Zusatz zu der Abhandlung von Laborde: Influence du bulbe etc.* Gaz. méd. de Paris. S. 632.

**6772.** Laborde. *Influence du bulbe sur les mouvements associés des yeux.* Gaz. méd. de Paris. S. 28.

**6773.** Sander. *Ueber die Beziehungen der Augen zum wachenden und schlafenden Zustand des Gehirns und über ihre Veränderungen bei Krankheiten.* Arch. f. Psych. IX. S. 129.

**6774.** Schwahn. *Ueber das Schielen nach Verletzungen in der Umgebung des kleinen Gehirns.* Eckhardt, Beiträge zur Anat. u. Physiol. VIII. (3.) S. 149.

**6775.** Siemens. *Zur Lehre vom epileptischen Schlafe und vom Schlafe überhaupt.* Arch. f. Psych. IX. (3.) S. 72.

**1879.**

**6776.** H. Biesinger. *Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Accommodation und Convergenz der Blicklinien.* Inaug.-Diss. Tübingen. Abgedruckt in Nagel's Mittheil. aus der ophthalmiatr. Klinik in Tübingen. Heft 1. S. 58.

**6777.** Duval. *Sur l'innervation des mouvements conjugués des yeux.* Gaz. méd. de Paris. S. 389.

**6778.** — *Der wahre Ursprung der motorischen Nerven des Auges.* Gaz. hebd. No. 27.

**6779.** Cl. Gallopain. *Le Pli Courbe n'est ni le siège de la perception des impressions visuelles ni le centre des mouvements des yeux.* Ann. méd.-psychol. (6.) II. 2. S. 177—188.

**6780.** E. Hering. *Ueber Muskelgeräusche des Auges.* Wien. Akad. Ber. 79. III. Abth.

**6781.** — *Physiologie des Gesichtssinnes. Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges.* Hermann's Handbuch der Physiol. III. (1) S 343.

**6782.** A. Nagel. *Zusätzliche Bemerkungen zu der Arbeit von Dr. Biesinger.* Nagel's Mittheil. aus der ophthalmiatr. Klin. in Tübingen. Heft 1. S. 108.

**6783.** L. Witkowski. *Ueber einige Bewegungserscheinungen am Auge.* Arch. f. Psychiatr. IX. S. 443.

**1880.**

**6784.** Abadie. *Note sur l'appui de l'hypothèse de M. Landouzy sur l'existence d'un contre-rotateur des yeux.* Prog. méd. No. 4.

**6785.** Duval u. Laborde. *De l'innervation des mouvements associés des globes oculaires.* Journ. d'anat. et de physiol. XVI S. 65.

**6786.** Giraud-Teulon. *Analyse critique de „l'essai d'une explication génétique des mouvements oculaires" du professeur Donders".* Arch. d'ophthalm. Sept.-Oct. — Prog. méd. No. 38. — Gaz méd. No. 38.

**6787.** Le Conte. *On some phenomena of binocular vision.* Sillim. Journ. (3.) XX. S. 83.

1888.

13. A. Charpentier. *Influence inhibitoire de l'excitation de la rétine sur la contraction des muscles de l'oeil.* Compt. rend. de la société de biologie. V. No, 26. S. 596.
14. — *Influences diverses sur la contraction des muscles de l'oeil.* Compt. rend. de la société de biologie V. No. 27. S. 621.
15. A. Graefe. *Die Thätigkeit der geraden inneren Augenmuskeln bei den associirten Seiten- und den accommodativen Konvergenzbewegungen der Augen.* Ber. des VII. internat. Ophthalmologen-Congresses zu Heidelberg. S. 30.
16. F. D. A. C. van Moll. *Over afwezigheid van rollbeweging bij zijdelingsche blick richting.* Feestbundel, Donder's Jubiléum. S. 1.
17. G. C. Savage. *The harmonious non-symmetrical action of the oblique muscles explains binocular astigmatism.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 245.
18. M. Tscherning. *Quelques conséquences de la loi de Listing.* Ann. d'Oculist. Bd. 100. S. 101.

1889.

19. Benzler. *Ein Fall von essentieller Convergenzlähmung.* Deutsche militärärztliche Zeitschr. No. 7. S. 301.
20. J. B. Lawford. *Congenital hereditary defect of ocular movements.* Transact. of the ophthalm. soc. VIII. S. 262.
21. Marlow. *The position of rest as a cause of strabismus.* Ophthalm. Rev. S. 362.
22. G. Secondi. *Valori di A e di $A_1$ nei vari gradi del campo di sguardo quando ricercati nel piano orrizontale.* Ann. di Ottalm. XVIII. S. 117.
23. L. Winternitz. *Ein Diagramm als Beitrag zur Orientirung über die Wirkungsweise der Augenmuskeln und die Ausfallserscheinungen bei Lähmung derselben.* Wien. klin. Wochenschr. No. 11.

1890.

24. M. Knies. *Ueber die centralen Störungen der willkürlichen Augenmuskeln.* Arch. f. Augenhlkde. XXXII. S. 19—51.
25. Mott. *Augenbewegungen* Brit. Med. Journ. No. 1538. Oesterr.-Ung. Centralbl. f. med. Wiss. No. 19. S. 344.
26. H. Munk. *Sehsphäre und Augenbewegungen.* Sitzgs.-Ber. d. Akad. d. Wiss. in Berlin. III. S. 53—74.
27. Obregia. *Ueber Augenbewegungen auf Sehsphärenreizung.* Arch. f. Physiol. S. 206.
28. Stevens. *Die Anomalien der Augenmuskeln.* Zweiter Theil. Arch. f. Augenheilkde. XXI. S. 335.

1891.

29. V. Bravais. *Du mouvement des yeux dans la lecture.* Lyon méd. 29. Nov.
30. Ferri. *Ueber die Axenrotation des Auges bei Seitwärtsneigung des Kopfes.* Giorn. dell' Acc. di Med. de Torino. H. 1—4.
31. M. Herz. *Die Bulbuswege und die Augenmuskeln.* Pflüger's Arch. XLVIII. S. 385—417.
32. M. Hornemann. *Zur Kenntniss der Blickfeldbestimmung. Beiträge zur Methode der Blickfeldbestimmung, sowie perimetrische Messungen von monoculären Augenbewegungen im horizontalen und verticalen Meridian.* Diss. Halle.
33. E. Landolt. *Beitrag zur Physiologie der Augenbewegungen.* Heidelberger Helmholtz-Festschr. S. 65—68.
34. — *Nouvelles recherches sur la physiologie des mouvements des yeux.* Arch. d'Ophthalm. XI. S. 385—396.
35. Rey. *Etude sur le centre de rotation de l'oeil humain.* Thèse de Toulouse.
36. G. C. Savage. *The harmonious symmetrical action of the oblique muscles in all cases of astigmatism.* Ophthalm. Rec. I. S. 1.
37. — *Insufficiency of the oblique muscles.* Arch. of Ophthalm. XX. S. 105—107.

1892.

38. Bumstead. *A new test for the ocular muscles.* Ann. of Ophthalm. and Otology. I. S. 84.
39. L. Ferri. *Schema rappresentativa delle azioni fisiologiche dei muscoli oculari e loro diplopie paralitiche.* Ann. di Ottalm. XXI. S. 65.
40. Ferrier. *De l'action des muscles obliques.* Ann. d'Oculist. CVII. S. 92.
41. Wibbe. *Ueber die Ruhestellung der Augen.* Groningen.

1786.

66. GRANT. *Nachricht von den Erscheinungen nach der Operation eines Staars an einem Blindgeborenen.* Voigt's Mag. f. d. Physik u. Naturgeschichte. IV. (1.) S. 21.

1801.

67. J. WARE. *Case of a young gentleman who recovered his sight when seven years of age.* Philos. Trans. XCI. S. 382—396.

1807.

68. HOME. Philos. Transact. P. I. — Bibl. Brit. XXXVII. S. 85. 1808.

1811.

69. STEINBUCH. *Beiträge zur Physiologie der Sinne.*

1812.

70. J. C. HOFFBAUER. *Psychologisch-optische Beobachtungen und Versuche, auch zur Bestätigung der Cheselden'schen Beobachtungen an Blindgeborenen, die zum Gesichte gelangt sind, mitgetheilt.* Reil und Hoffbauer, Beiträge zur Beförderung einer Kurmethode auf psychischem Wege. Halle. Bd. II. S. 249—277.

1826.

71. J. MÜLLER. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig. 1.

72. J. WARDROP. *Case of a lady, born blind, who received sight at an advanced age by the formation of an artificial pupil.* Philos. Trans. III. S. 529—540.

1827.

73. TOURTUAL. *Die Sinne des Menschen.* Münster.

1834.

74. C. M. N. BARTELS. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Berlin.

1836.

75. A. W. VOLKMANN. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig.

1840.

76. J. MÜLLER. *Handbuch der Physiologie des Menschen.* Coblenz. Bd. II. S. 362.

1841.

77. FRANZ. Philos. Transact. VI. S. 529.

1847.

78. TRINCHINETTI. *Observations sur les premières impressions visuelles, aperçues par deux aveugles de naissance après l'opération de la cataracte.* Arch. d. sciences phys. et nat. VI. S. 336; Giorn dell istituto Lombardo, fasc. 46 e 47.

1849.

79. WALLER. *Sur un cas, où la vue altérée faisait voir les objets plus petits que nature.* Inst. XVII. No. 787. S. 39.

1851.

80. E. H. WEBER. *Programmata collecta.* Fasc. III. — *Ueber den Tastsinn und das Gemeingefühl.* S. 559 in R. Wagner's Wörterb. d. Physiol.

81. A. FICK. *De errore quodam optico asymmetria bulbi effecto.* Marburg. (Im Ausz. Zeitschr. f. rat. Med. 2.) II. S. 83.

1852.

82. KNIE. *Erinnerungen einer Blindgeborenen.* Breslau.

83. E. H. WEBER. *Ueber den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge.* Ber. d. sächs. Soc. S. 85 ff.

1853.

84. E. H. WEBER. *Ueber Grofse, Lage und Gestalt des sog. blinden Flecks im Auge und die davon abhängigen Erscheinungen.* Ber. d. sächs. Soc. S. 149—158; Fechner's Centralbl. S. 929—941.

85. A. FICK und P. DU BOIS REYMOND. *Ueber die unempfindliche Stelle der Netzhaut im menschlichen Auge.* Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 396—407; — Fechner Centralbl. 1854. S. 57—72.

86. A. W. VOLKMANN. *Ueber einige Gesichtsphänomene, welche mit dem Vorhandensein eines unempfindlichen Fleckes im Auge zusammenhangen.* Ber. d. sächs. Soc. S. 27—50. Fechner Centralbl. 1854. S. 57—72.

1854.

87. J. CZERMAK. *Ueber die unempfindliche Stelle der Retina im menschlichen Auge.* Wien. Ber. XII. S. 358—364.

1855.

88. J. J. OPPEL. *Ueber geometrisch-optische Täuschungen.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1854—55. S. 37—47.

1869.

6. M. Woinow. *Ueber das Sehen mit dem blinden Fleck und seiner Umgebung.* Arch f. Ophthalm. XV. (2.) S. 155—166.

1873.

7. A. A. G. Guje. *Over onbewuste besluiten en eene opmerking omtrent de pseudoscopish figuur van Zöllner.* Maandbl. voor Naturwetensch. No. 6.

1875.

8. S. Exner. *Ueber das Sehen von Bewegungen und die Theorie des zusammengesetzten Auges.* Wien. Acad. Ber. (3.) 72. S. 156—190.

9. A. v. Hippel. *Beobachtungen an einem mit doppelseitiger Cataract geborenen, erfolgreich operirten Kinde.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXI. 2. S. 101—131.

0. J. Hirschberg. *Eine Beobachtungsreihe zur empiristischen Theorie des Sehens.* Arch. f. Ophthalm. XXI. 1. S. 23—42

1. Schneller. *Studien über das Blickfeld.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXI. 3. S. 133—198.

2. H. Messer. *Ueber Täuschungen des Augenmaſses.* Diss. Würzburg. 34 S.

3. — *Notiz über die Vergleichung von Distanzen nach dem Augenmaſs.* Pogg. Ann. CLVII. S. 172—175.

1876.

4. A. Bartoli. *Sulla sensibilità dell' occhio nella valutazione dei rapporti di grandezza delle lunghezze e degli angoli e sulla legge psico-fisica di Fechner.* Nuovo Cimento. Ser. II. Vol. XVI.

5. Dufour. *Guérison d'un aveugle-né. Observation pour servir à l'étude des théories de la vision.* Bull. de la Soc. med. de la Suisse rom. Separat. Lausanne.

6. F. Küster. *Die Directionskreise des Blickfeldes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXII. 1. S. 149—210. Utrecht'sche Onderzoekingen, Derde R. IV. S. 114—180. — XVII. Versl. van het Nederl. Gasthuis etc. S 137—203.

7. Recordon. *Guérison d'un aveugle-né.* Bull. de la Soc. méd. de la Suisse romande.

8. Schneller. *Ergänzung zu den Studien uber das Blickfeld.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXII. 4. S. 136—146.

1877.

9. A. Chodin. *Ist das Weber-Fechner'sche Gesetz auf das Augenmaſs anwendbar?* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. 1. S. 92—108.

1878.

0. L. Fialla. *Guérison de six aveugles-nés.* Bukarest. Thiel & Weiss.

1879.

1. Heuse. *Noch einmal das Zollner'sche Muster.* Arch. f. Ophthalm. XXV. 1. S. 116.

1880.

2. W. Holtz. *Ueber eine Augentauschung beim Anblick geometrischer Figuren.* Wiedemann's Ann. X. S. 158—160.

3. L. Mauthner. Wien med. Wochenschr.

4. Ch. Montigny. *Différence des appréciations de la grandeur apparente des images microscopiques par divers observateurs.* Bull. de l'Acad. Roy. Belg. (2.) XLIX. S. 670 bis 678.

1881.

5. Badal. *Micropsie, macropsie et metamorphopsie rétiniennes.* Ann. d'Oculist. Bd. 85. S. 182—185.

6. A. Charpentier. *Täuschungen in der Abschätzung der Gröſse.* Compt. Rend. XCIII. S. 791—793.

7. — *Illusion relative à la grandeur et à la distance des objets dont on s'éloigne.* Compt. Rend. 21. März.

8. R. Schirmer. *Makropsie und Mikropsie.* Eulenburg's Real-Encykl. d. ges. Heilkde. VIII. S. 525.

1882.

9. E. v. Fleischl. *Localzeichen und Organgefuhle.* Med. Jahrb. S. 91.

0. L. Meyer. *Blindgeborene.* Deutsch. med. Wochenschr. S. 177.

1. Stöber. *Sur le champ visuel.* Mém. Soc. de méd. de Nancy. (1880—1881.) LXVI.

2. R. Schirmer. *Metamorphopsie.* Eulenburg's Real-Encykl. d. ges. Heilkde. IX. S. 28.

9. J. Delboeuf. *Sur une nouvelle illusion d'optique.* Bull. de l'Acad. de Belg. (3.) XXIV. S. 545—558.
0. A. Graffé. *Note sur un aveugle de naissance opéré de la cataracte à l'âge de quinze ans.* Rev. scientif. Bd. L. S. 67—75.
1. J. Jastrow. *On the judgment of angles and positions of lines.* Americ. Journ. of Psychol. V. 2. S. 214—248.
2. Th. Lipps. *Optische Streitfragen.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 493—504.
3. C. Stumpf. *Zum Begriff der Localzeichen.* Zeitschr. f. Psychol. IV. S. 70—73.

1893.

4. W. Holtz. *Ueber den unmittelbaren Gröfseneindruck in seiner Beziehung zur Entfernung und zum Contrast.* Göttinger Nachrichten. S. 159—167.

1894.

5. F. Auerbach. *Erklärung der Brentano'schen optischen Täuschung.* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 152—160.
6. V. Franke. *Das Sehenlernen eines 26jährigen intelligenten Blindgeborenen.* Deutschmann's Beitr. z. Augenheilkde. H. 16. S. 1.

---

## § 29.

# Die Richtung des Sehens.

Ueber optische Täuschungen findet sich weitere Litteratur in § 28.

1604.

7. Kepler *Ad Vitellionem Paralipomena.* S. 169; 285; 69—70.

1619.

8. Scheiner. *Oculus.* Oenipontii. S. 192.

1637.

9. Descartes. *Dioptrice.* Leyden. S. 68.

1667.

0. Honoratus Fabri *Synopsis optica.* Lugduni.

1709.

1. Berkeley. *Essay towards a new theory of vision.*

1740.

2. Le Cat. *Traité des sens.* Rouen.
3. Wedel. *Ueber den Radius risorius des Honoratus Faber.* Halleri Disputat. anat. IV. S. 216.

1754.

4. Condillac. *Traité des sensations.*

1759.

5. Porterfield. *A treatise on the eye.* Edinburg. II. S. 285.

1761.

6. d'Alembert. *Opuscula mathematica.* I. S. 26, 265.

1771.

7. Boehm. *De Visione erecta.* Acta Hassiaca. S. 64.

1772.

8. Priestley. *History and present state of discoveries relating to vision, light and colours.* Uebers. v. Klügel. Leipzig 1775. S. 69.

1783.

9. Rochon. *Recueil de Mémoires sur la Mécanique et sur la Physique.* Brest. VI. S. 241.

1784

0. Du Tour. *Mémoire pour établir que le point visible est vu dans le rayon qui va de ce point à l'oeil.* Mémoires de savans étrang. Paris. VI. S. 241.

6991. Elame. *A rationale of the cause of erroneous vision, comprising the laws of erect vision, deduced upon the principle of dioptrics.* London.

**1790.**

6992. Walter. Berliner [illegible] Abhdl. [illegible]

**1793.**

6993. [illegible] *Esame di uno [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] dell' Ottica: con alcune considerazioni sopra la [illegible] [illegible] [illegible]* dell' [illegible] [illegible]. [illegible] I. S. [illegible]

**1794.**

6994. Lichtenberg. Erxleben's Naturlehre. 6. Aufl. S. 328.

6995. [illegible]. Hamburger Magazin. [illegible] St. 4. Art. 3; IX. St. 1. Art. 4

**1826.**

6996. Rudolphi. *Physiologie.* II. S. [illegible]

**1826.**

6997. J. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes.* Leipzig.

**1834.**

6998. [illegible] H. [illegible] Bartels. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes.* Berlin.

**1836.**

6999. A. W. Volkmann. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes.* Leipzig. Auch in [illegible] d. Physiol. Art. Sehen.

**1837.**

7000. [illegible] *Ueber die Richtungslinien des Sehens.* Pogg. Ann. XLII. [illegible] J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. 1838. S. 387.

**1838.**

7001. A. W. Volkmann. *Ueber die Lage des Kreuzungspunktes der Richtungs[illegible] Linien im ruhigen und bewegten Auge.* Pogg. Ann. Bd. 45. S. 207.

**1839.**

7002. [illegible]. *Ueber die Richtungsstrahlen und Richtungslinien beim S[illegible]* Ann. Bd. 46. S. 248.

7003. A. W. Volkmann. *Erklärung einiger Gesichtsphänomene.* Müller's Arch. XX[illegible]

**1842.**

7004. Stark. *Ueber Volkmann's Richtungslinien des Sehens und über die U[illegible] Undeutlichkeit außerhalb der Augenaxen.* Pogg. Ann. LVII. S. 346.

**1844.**

7005. D. Brewster. *Law of visible position in single and binocular vision.* Edinb.

**1847.**

7006. H. W. Dove. *Ueber eine optische Täuschung beim Fahren auf der Eisen[illegible]* Ann. Bd. 71. S. 118.

**1849.**

7007. J. Plateau. *Sur de nouvelles applications curieuses de la persistance des [illegible] de la rétine.* Bull. de Brux. XVI. II. S. 30, 254. — Inst. XVIII. No. [illegible] Phil. Magaz. XXXVI. S. 434, 436. — Pogg. Ann. LXXX. S. 150, 287

**1852.**

7008. H. Bolns. *Étude sur la vision de l'homme et des animaux.* Bul[illegible] XIX. 2. S. 155—161. Cl. des sciences. S. 443—449.)

7009. H. Lotze. *Medicinische Psychologie.* S. 362—369.

**1854.**

7010. L. Fick. *Bemerkungen zur Physiologie des Sehens.* Müller's Arch. [illegible] Physiol. S. 220—225.

7011. A. v. Graefe. *Beiträge zur Physiologie und Pathologie der schiefen Au[illegible]* Arch. f. Ophthalm. I. (1.) S. 67.

**1855.**

7012. H. Helmholtz. *Ueber das Sehen des Menschen, ein populär wissenschaftlich[illegible]* Leipzig. S. 20—42.

7013. E. B. Hunt. *On our sense of the vertical and horizontal.* Sill. Journ[illegible] S. 368—375.

**1856.**

7014. J. J. Oppel. *Neue Beobachtungen und Versuche über eine eigenthüm[illegible] wenig bekannte Reactionsthätigkeit des menschlichen Auges.* Pogg. A[illegible] S. 540—561.

1858.

)15. UEBERWEG. *Zur Theorie der Richtung des Sehens.* Zeitschr. f. ration. Medicin. (3.) Bd. V. S. 268—282.

1860.

)16. J. J. OPPEL. *Zur Theorie einer eigenthümlichen Reactionsthätigkeit des menschlichen Auges in Bezug auf bewegte Netzhautbilder.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1859—1860. S. 54—64. — Zeitschr. f. Naturw. XVII. S. 258—260.

)17. H. AUBERT. *Eine scheinbare bedeutende Drehung von Objecten bei Neigung des Kopfes nach rechts und links.* Virch. Arch. XX. S. 381—393.

)18. G. BUECHTEMANN. *De anomalia loci, quo rerum imagines in retina ortae, nec exstinctae oculis aversis referuntur.* Berlin.

1861.

)19. A. NAGEL. *Das Sehen mit zwei Augen.* Breslau. S. 124—129.

)20. E. HERING. *Beiträge zur Physiologie.* Leipzig. Heft 1. S. 35—64.

)21. RAINY. *Sur la cause des mouvements apparents des images des objets.* Ophthalm. Hosp. Rep. No. 12.

1862.

)22. F. ZOLLNER. *Ueber eine neue Art anorthoskopischer Zerrbilder.* Pogg. Ann. CXVII. S. 477—484. — Zeitschr. f. Naturw. XXI. S. 163.

1863.

)23. J. CZERMAK. *Ueber das sogenannte Problem des Aufrechtsehens.* Wien. Ber. XVII. S. 566—574.

1864.

)24. G. TH. RUETE. *Ueber die Richtungslinien des Sehens.* Sitzgs.-Ber. II. S. 3. — Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 186.

1865

)25. ALFRED GRAEFE. *Ueber einige Verhältnisse des Binocularsehens bei Schielenden.* Arch. f. Ophthalm. XI. (2.) S. 6—16.

)26. H. W. DOVE. *Ueber optische Täuschungen bei der Bewegung.* Berl. Ber. S. 129.

)27. H. HELMHOLTZ. *Ueber den Einfluſs der Raddrehung der Augen auf die Projection der Retinabilder nach auſsen.* Verh d. naturhist. Ver. in Heidelberg. III. S. 170, in Heidelb. Jahrb. d. Litt. No. 16. S. 244—245.

1867.

)28. TH. W. ENGELMANN. *Over schijnbewegingen bij nabeelden.* Ned. Arch. III. S. 114

)29. — *Ueber Scheinbewegungen in Nachbildern.* Jenaische Zeitschr. f. Med. u. Naturw. III. S. 443.

1868.

)30. G. OTTH. *Ueber eine intermittirende optische Täuschung.* Berner Mitth. 1868. S. 70—74.

1869.

031. LAMANSKY. *Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit der Blickbewegung, resp. Augenbewegung.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. II. S. 418—422.

032. F. P. LE ROUX *Illusions du jugement qui accompagnent les perceptions visuelles.* Mondes. (2.) XXI. S. 477—479.

1871.

033. PH. BRETON. *Danse apparente des fils télégraphiques vus par la fenêtre d'un wagon en marche rapide.* Mondes. (2.) XXVI. S. 548.

034. F. C. DONDERS. *Die Projection der Gesichtserscheinungen nach den Richtungslinien.* Arch. f. Ophthalm. XVII. (2. S. 1—68.

1872

035. F. C. DONDERS. *De projectie der gezichtsverschijnselen naar de richtingslijnen.* Onderzoekingen ged. in het Physiol. Laborat. d. Utrecht'sche Hoogeschool. Derde Reeks. I. S. 146—168. — Arch. néerl. VII. S. 254—276.

1873.

036. E. EMMERT. *Gesichtswahrnehmungen und Sinnestäuschungen.* Bern.

037. J. JAGO. *Visible direction: being an elementary contribution to the study of monocular and binocular vision.* Philos. Mag. (4) XLVI. S. 80—84. Proc. Roy. Soc. XXI. S. 213—217.

038. A. THIERSCH. *Optische Täuschungen auf dem Gebiete der Architectur.* Zeitschr. f. Bauwesen. Jahrg. 1873.

1875.

7039. E. Mach. *Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen.* Leipzig.

7040. E. Hitzig. *Ein Fall von erworbenem rhythmischen Nystagmus mit davon abhä Schwindelempfindungen in Form von sehr ausgesprochenen Scheinbewegungen.* klin. Wochenschr. XII. S. 33.

1876.

7041. K. Vierordt. *Die Bewegungsempfindung.* Zeitschr. f. Biol. XII. S. 226—24(

1877.

7042. E. Brücke. *Bruchstücke aus der Theorie der bildenden Künste.* Intern. Bibl. Bd. 28. Brockhaus, Leipzig.

1878.

7043. G. H. Schneider. *Warum bemerken wir mäfsig bewegte Dinge leichter als ruh* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. II. S. 377—414.

7044. Stricker. *Ueber Sinnestäuschungen.* Wien. med. Bl. No. 4—6.

1879.

7045. J. Aitken. *Eine neue Art von Nachbildern.* Journ. of Anat. and Physiol.

7046. Giraud-Teulon. *Rapport sur une „Note relative à une illusion d'optique M. le Dr. Prompt.* Bull. de l'Acad. de méd. VIII. 36. S. 936—946.

7047. Haenel. *Ueber optische Täuschungen.* Jahresb. d. Ges. f. Natur- u. Heilk Dresden. 1878—1879. S. 105.

7048. J. Hoppe. *Die Scheinbewegungen.* Würzburg.

7049. Kleiner. *Physiologisch-optische Beobachtungen. IV. Ueber Scheinbewegu* Pflüger's Archiv. XVIII. S. 542—573.

7050. Prompt. *Sur une illusion d'optique.* Gaz. méd. de Paris. No. 37.

7051. S. P. Thompson. *Some new optical illusions.* Monthly Journ. of Sc. März.

1880.

7052. S. P. Thompson. *Optical illusions of motion.* Brain. Vol. II. No. 3.

7053. J. Hoppe. *Die scheinbare Bewegung des Ufers in einer dem Wasser entgegenge Richtung beim Stehen am fließenden oder doch bewegten Wasser.* Mem XXV. S. 108.

7054. G. Zehfuss. *Ueber Bewegungsnachbilder.* Wiedemann's Ann. IX. S. 672.

1881.

7055. Ch. S. W. Cobbold. *Observations on certain optical illusions of motion.* I IV. 13. S. 75.

7056. Jackson. *Relation between the apparent movement of objects and the rotati the eyes.* Transact. ophthalm. soc. of the United Kingd. I. Octbr. 13. — L II. No. 17.

7057. — *Apparent movement of objects during involuntary movements of the eyes.* Opl Rev. November. S. 16.

7058. E. Kraepelin. *Ueber Trugwahrnehmungen.* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philo S. 205—228, 349—369.

7059. Tschermak. *Zur Physiologie des Gesichtsorgans. Das Plateau-Opp Phänomen und sein Platz in der Reihe gleichartiger Erscheinungen.* Milit. Journ. Juni-Juli. — Arch. f. Augenheilkde. XI. 2. S. 241.

1882.

7060. Bowditsch und G. S. Hall. *Optical illusions of motion.* Journ. of physiol S. 297—307.

7061. Buccola. *La riproduzione della percezione del movimento nello spazio visivo.* di filos. scient. I. 4.

7062. F. C. Donders. *On the relation between the apparent movements of objects an rotation of the eyes.* Transact. ophthalm. soc. of the United Kingd. Lo 1881—1882. II. S. 21.

7063. E. v. Fleischl. *Physiologisch-optische Notizen.* II., V. u. VI. Mitth. Wiener Sitzung Bd. 86. 3. Abth.

7064. Schöbl. *Eine eigenthümliche optische Täuschung.* Natur. No. 32.

1883.

7065. G. Mayerhausen. *Ueber die Gröfsenverhältnisse der Nachbilder bei geschlos Lidern.* Arch. f. Ophthalm. XXIX. 2. S. 23.

7066. — *Zur Casuistik der Gesichtstäuschungen.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. X S. 271.

**1884.**

7067. E. Budde. *Ueber metakinetische Scheinbewegungen und über die Wahrnehmung der Bewegung.* Du Bois-Reymond's Arch. S. 127.

**1885.**

7068. Alix. *Une illusion de l'esprit.* Rev. méd. de Toulouse. XIX. S. 129.

7069. A. Brothers. *On a variation in the size of an image on the retina according to the distance of the background on which it is seen.* Chem. News. LI. S. 296.

7070. V. Kandinsky. *Kritische und klinische Betrachtungen im Gebiete der Sinnestäuschungen.* Berlin, Friedländer u. Sohn.

**1886.**

7071. H. Aubert. *Die Bewegungsempfindung.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXIX. S. 347.

7072. A. Charpentier. *Nouveaux faits à propos du balancement des étoiles.* Compt. Rend. CII. S. 1462.

7073. — *Mouvements apparents d'un petit objet faiblement éclairé dans le champ visuel obscur.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. II. S. 765. III. S. 226. — Compt. Rend. CII. S. 1025, 1155.

7074. — *Illusion visuelle.* Franc. méd. 17. Juni.

7075. — *Note sur une illusion visuelle.* Gaz. hebd. de méd. et de chir. No. 22. S. 363. — Compt. Rend. Bd. 102. S. 1155.

7076. S. Exner. *Ein Versuch über die Netzhautperipherie als Organ zur Wahrnehmung von Bewegungen.* Pflüger's Arch. XXXVIII. S. 217—218.

7077. A. König. *Ueber eine auf die empirische Grundlage unserer Raumanschauung bezügliche Beobachtung.* Wiedemann's Ann. XXVIII. S. 267—268. — Verhandl. d. Phys. Ges. zu Berlin vom 5. März.

7078. M. H. de Parville. *Sur une illusion visuelle et l'oscillation apparente des étoiles* Compt. Rend. CII. S. 1309.

**1887.**

7079. H. Aubert. *Die Bewegungsempfindung.* (Zweite Mittheilung nebst Nachtrag.) Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 459—480 u. 623-624.

7080. Berlin. *Ueber ablenkenden Linsen-Astigmatismus und seinen Einfluſs auf das Empfinden von Bewegung.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. Bd. V.

7081. S. Exner. *Einige Beobachtungen über Bewegungsnachbilder.* Centralbl. f. Physiol. S. 135.

7082. Ch. Féré. *Sensation et mouvement. Etude expérimentale de psycho-mécanique.* Paris.

**1888.**

7083. H. Aubert. *Physiologische Studien über die Orientirung.* Tübingen, Laupp. 122 S.

7084. D. Axenfeld. *Illusione visiva monoculare.* Acad. med. di Roma. XIV. S. 5.

7085. S. Exner. *Ueber optische Bewegungsempfindungen.* Biol. Centralbl. VIII. No. 14. S. 437—448.

7086. E. Hering. *Berichtigung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIV. (4.) S. 272.

7087. E. Heuse. *Zwei kleinere Mittheilungen aus dem Gebiete der physiologischen Optik.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIV. (2.) S. 127—134

7088. A. E. Mulder. *Ons oordeel over verticaal, bij neiging van het hoofd naar rechts of links.* Feestbundel a. F. C. Donders, etc. Amsterdam. S. 340-352.

**1889.**

7089. H. Aubert. *Die Orientirung im Raume bei ruhendem und bewegtem Körper und über den Schwindel.* Arch. d. Ver. d. Freunde d. Naturg. in Mecklenburg. XLII. S. 249.

7090. Beevor. *Apparent movement of objects associated with giddiness.* Ophthalm. Rev. VIII. S. 220.

**1890.**

7091. L. Ferri. *Dei movimenti apparenti. Osservazioni di fisiologia sulla sensazione visiva di movimento.* Giorn. d. R. Accad. med. di Torino. S. 172. — Ann. di Ottalm. XX. S. 400. 1891.

7092. Th. Lipps. *Ueber eine falsche Nachbildlocalisation.* Zeitschr. f. Psychol. I. S. 60 bis 74.

**1891.**

7093. A. Ahrens. *Untersuchungen über die Bewegung der Augen beim Schreiben.* Diss. Rostock. 30 S.

1892.

7094. Th. Lipps. *Die Raumanschauungen und die Augenbewegungen.* Zeitschr. f. P ·III. S. 123—171.
7095. O. Schwarz. *Bemerkungen über die von Lipps und Cornelius besprochene N erscheinung.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 398—404.

1894.

7096. J. Hoppe. *Studie zur Erklärung gewisser Scheinbewegungen.* Zeitschr. f. P u. Physiol. VIII. S. 29—37.
7097. A. Kirschmann. *Die Parallaxe des indirecten Sehens und die spaltförmigen l der Katze.* Philos. Stud. IX. S. 447—496.
7098. H. W. Knox. *On the quantitative determination of an optical illusion.* Journ. of Psychol. VI. 3. S. 413—421.
7099. E. Milhaud. *La projection externe des images visuelles.* Rev. Philos. XXX S. 210—222.
7100. L. W. Stern. *Die Wahrnehmung von Bewegungen mittelst des Auges.* Zeit Psychol. VII. S. 321—386. Auch separat. Hamburg, L. Voss.
7101. J. Reboud. *La position de repos des yeux.* Arch. d'Ophthalm. XIV. S. 68

---

## § 30.

## Wahrnehmung der Tiefendimension.

### 1. Tiefenwahrnehmung ohne Rücksicht auf die Verschiedenh der beiden Netzhautbilder.

150.

7102. Claudius Ptolemaeus. *Syntaxis mathematica (Almagest).* Lib. III. Cap. 3 u.

1038.

7103. Alhazen. *Opticae thesaurus.* Lib. VII. S. 53—54. Edit. Risneri. Basil

1214—94.

7104. Roger Baco. *Opus majus.* London. 1733. Perspective. S. 118.

1271.

7105. Vitellio. *Optica.* S. 412. Edit. Risneri. Basil. 1572.

1583.

7106. J. B. Porta. *De refractione.* S. 24, 128.

1588—1679.

7107. Hobbes. Robin's Mathematical tracts. London. 1761. Vol. II. S. 241—244.

1604.

7108. Kepler. *Paralipomena.* S. 62—66.

1644.

7109. Descartes. *Dioptrice.* Amstelodami. S. 68. *De homine.* S. 66—71.

1658.

7110. P. Gassendi. *Opera omnia.* Lugduni II. S. 395.

1667.

7111. J. Gregory. *Geometriae pars universalis.* Venetiae. S. 141.

1674.

7112. Malebranche. *Recherche de la verité.* Paris. P. I.

1687.

7113. Molyneux. *Why celestial objects appear greatest near the horizon.* Phil. 1681. I. S. 221.

1694.

7114. De la Hire. *Sur différents accidents de la vue.* Anc. Mém. de Paris. IX.

**1700.**

115. Th. Gouye. *Mém. de Paris.* S. 11.

**1709.**

116. Berkeley. *Essay toward a new theory of vision.* Dublin. S. 30. — Auch in Robin's mathematical tracts. II. S. 242. London. 1761.

**1712.**

117. Jablot. *Déscription de plusieurs nouveaux microscopes.* (Umkehrung des Reliefs.)

**1717.**

118. Varignon. *Lignes suivant lesquelles des arbres doivent être plantés pour être vues deux à deux aux extrémités de chaque ordonnée à ces lignes sous des angles de sinus données.* Mém. de Paris.

**1728.**

119. R. Smith. *Optik.* Deutsche Ausgabe. S. 418. Ebenda Huygens in Art. 586.

**1736.**

120. J. Logan. *Some thoughts on the sun and the moon, when near the horizon appearing larger than when near the zenith.* Phil. Trans.

121. J. T. Desaguliers. *Attempt to explain the phenomenon of the horizontal moon appearing larger than when elevated, supported by an experiment.* Phil. Trans. LII. S. 462.

**1745.**

122. P. F. Gmelin. *De fallaci visione per microscopia composita notata.* Phil. Trans.

**1755.**

123. P. Bouguer. *Sur la grandeur apparente des objets.* Mém. de Paris.

**1758.**

124. J. E. Montucla. *Histoire des mathématiques.* Paris. Vol. I. S. 309.

**1759.**

125. W. Porterfield. *A treatise on the eye.* Edinburg. 2 Vol.

**1762.**

126. Sam. Dunn. *An attempt to assign the cause, why the sun and moon appear to the naked eye larger, when they are near the horizon.* Phil. Trans. Vol. VIII. S. 180.

**1765.**

127. J. H. Lambert. *Beiträge zum Gebrauch der Mathematik und deren Anwendung.* Berlin 1765—72. Bd. I. § 60—78.

**1768.**

128. L. Euler. *Lettres à une Princesse d'Allemagne.* Petersb. 1768—72. Deutsch von F. Kries. Leipzig. 1792—94. S. 317.

**1772.**

129. Priestley. *Geschichte der Optik.* Deutsch von Klügel. Leipzig. 1776. II. S. 491—511.

**1786.**

130. D. Rittenhouse. *Explanation of an optical deception.* Transact. Americ. Philos. Society. II. — Edinb. Journ. of science. VII. S. 99.

**1828.**

131. Muncke. Art.: *Gesicht* in Gehler's physik. Wörterb. Neu bearbeitet. Leipzig. IV. S. 1455.

**1833.**

132. Necker. *Ueber einige merkwürdige optische Phänomene.* Pogg. Ann. XXVII. S. 502.

**1840.**

133. Hueck. *Ueber die Täuschung des Fernrückens der Gesichtsobjecte.* Müller's Arch. S. 76.

**1842.**

134. H. Meyer. *Ueber einige Täuschungen in der Entfernung und Grösse der Gesichtsobjecte.* Arch. f. physiol. Heilkde. S. 316.

**1847.**

135. D. Brewster. *On the conversion of relief by inverted vision.* Edinb. Philos. Transact. XV. S. 657. Philos. Mag. XXX. S. 432. Athenaeum. No. 1029. S. 778.

**1848.**

136. Waller. *Sur un cas, où la vue altérée faisait voir les objets plus petits que nature.* Inst. XVII. No. 787. S. 39.

1850.

7137. DE HALDAT. *Mémoire sur quelques illusions d'optique et particulièrement su modification des images oculaires.* Compt. Rend. XXXII. S. 357.

1853.

7138. H. DENZLER. *Ueber eine Sinnestäuschung psychologischen Ursprungs.* Mitth naturf. Ges. in Zürich. III. S. 216—218.

1854.

7139. DROBISCH. *Ueber die Bestimmung der Gestalt des scheinbaren Himmelsgewölbes.* d. Leipz. Ges. der Wiss. S. 107.

1855.

7140. J. J. OPPEL. *Ueber ein Anaglyptoskop. (Vorrichtung, vertiefte Formen erhabe sehen.)* Jahresber. d. Frankf. Vereins. 1854—1855. S. 55—57. — Pogg. Ann. X( S. 466—469.

1856.

7141. A. WEBER. *Ueber die scheinbare Umkehrung des Erhabenen und Vertieften.* A f. Ophthalm. II. (1.) S. 141—146.

1858.

7142. H. SCHROEDER. *Ueber eine optische Inversion bei Betrachtung verkehrter, d optische Vorrichtung entworfener physischer Bilder.* Pogg. Ann. CV. S. 298—

1859.

7143. W. WUNDT. *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* Henle u. Pfeu Zeitschr. (3.) VII. S. 279—317. (Ueber den Einfluſs der Accommodation au räumliche Tiefenwahrnehmung.)

7144. P. L. PANUM. *Die scheinbare Gröſse der gesehenen Objecte.* Arch. f. Ophth V. (1.) S. 1—36.

1860.

7145. F. AUGUST. *Ueber eine neue Art stereoskopischer Erscheinungen.* Leipzig.

7146. D. BREWSTER. *On some optical illusions connected with the inversion of perspe* Athenaeum. 2. S. 24. — Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 7—8.

7147. SINSTEDEN. *Ueber ein neues pseudoskopisches Bewegungsphänomen.* Pogg. Ann. ( S. 336—339. — Cosmos. XVIII. S. 290—292.

7148. MOHR. *Ueber pseudoskopische Wahrnehmungen.* Pogg. Ann. CXI. S. 638—64

1862.

7149. E. EMERSON. *On the perception of relief.* Sill. Journ. (2.) XXXIV. S. 312— Philos. Mag. (4.) XXV. S. 125—130.

7150. R. T. LEWIS. *On the changes in the apparent size of the moon.* Philos. Mag XXIII. S. 380—382.

7151. T. ZENO. *On the changes in the apparent size of the moon.* Philos. Mag. (4.) X S. 390—392.

7152. G. SCHWEIZER. *Ueber eine merkwürdige optische Täuschung, die bei der Betrac des Mondes durch Fernröhre vorkommen kann.* Bull. de Moscou. 1. S. 336— Astronom. Nachrichten. LVIII. S. 182—192.

1865.

7153. E. CHEVREUL. *Note sur le Panorama.* Compt. Rend. Bd. 61. S. 670—671.

7154. J. C. MONRO. *On a case of stereoscopic illusion.* Philos. Mag. (4.) Bd. 29. S

1866.

7155. F. C. DONDERS. *Invloed der accomodatie op de voorstelling von afstand.* Ne Arch. II. S. 212.

7156. J. LANDERER. *Illusion optique.* Mondes. XI. S. 9—10.

1867.

7157. SCHUBRING. *Wahrnehmung der Tiefendimensionen.* Corresp.-Bl. d. naturwiss. in Halle. VIII. S. 253.

1868.

7158. E. MACH. *Beobachtungen über monoculare Stereoskopie.* Wien.

1869.

7159. F. BURCKHARDT. *Eine Relief-Erscheinung.* Pogg. Ann. Bd. 137. S. 417—474. Verh. V. S. 269—272.

7160. F. C. DONDERS. *Invloed der accomodatie op de voorstelling van afstand.* Vers. Ne Gasth. v. Oogl. No. 10. S. 111.

7161. E. Mach. *Beobachtungen über monoculare Stereoskopie.* Wien. Ber. LVIII. 2. S. 731—736.

1870.

7162. Emsmann. *Eine pseudoskopische und optometrische Figur.* Pogg. Ann. Bd. 141. S. 476—479.

7163. Hoffmann. *Optische Erscheinung auf fortdauernden Lichteindruck gegründet und Vorführung von Burckhardt's Relieferscheinungen.* Zeitschr. f. Naturwiss. (2). II. S. 205.

7164. J. Landerer. *Eine optische Täuschung.* Zeitschr. f. Naturw. XXXV. S. 214.

1872.

7165. van der Meulen. *Stereoscopie bij onvolkomen gezichtsvermogen.* Onderz. ged. in het phys. Lab. d. Utr. hoogesch. 3. reeks II.

7166. van der Meulen und T. C. van Dooremaal. *Stereoscopisch zien, zonder correspondeerende half beelden.* Onderz. ged. in het phys. Lab. d. Utr. hoogesch. 3. reeks II. S. 119.

7167. Vogel und Zenker. *Die körperliche Wahrnehmung einer einfachen Zeichnung.* Athenäum 2. S. 86.

1873.

7168. van der Meulen en van Dooremaal. *Stereoskopisches Sehen ohne correspondirende Halbbilder.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 137—141.

1874.

7169. J. Samelsohn. *Ueber eine besondere Art monocularer Reliefanschauung.* Arch. f. d. ges. Physiol. IX. S. 221—226.

1877.

7170. E. Brücke. *Bruchstücke aus der Theorie der bildenden Künste.* Internat. wiss. Bibl. Bd. 28. Leipzig, Brockhaus.

7171. S. P. Thompson. *On the chromatique aberration of the eye in relation to the perception of distance.* Philos. Mag. Juli 1877.

1879.

7172. A. Berlin. *Taxation der Entfernung bei einseitig erblindeten Pferden.* Vers. d. Naturf. u. Aerzte in Baden-Baden. Tagebl. S. 348.

1880.

7173. J. Plateau. *Une application des images accidentelles.* Bull. de l'Acad. de Belg. (2.) XLIX. S. 316.

1881.

7174. J. Plateau. *Une application des images accidentelles.* Deuxième Note. Bull. de l'Acad. de Belg. (3.) II. S. 281.

1882.

7175. G. Hauck. *Die malerische Perspective.* Wochenbl f. Architectur u. Ingenieure. Jahrg. IV. No. 52, 54, 56 u. 58. — Sep. Berlin, Springer.

1883.

7176. Govi. *Intorno allo scopritore di una singolare illusione ottica.* Atti R. dei Lincei. (3.) Trans. VII. S. 183—187.

1884.

7177. W. v. Bezold. *Eine perspectivische Täuschung.* Wiedem. Ann. XXIII. S. 351.

7178. P. Stroobant. *Sur l'agrandissement des constellations, du soleil et de la lune à l'horizon.* Bull. Acad. Roy. Belg. (3). VIII. S. 719—734.

1885.

7179. G. Hauck. *Die Grenzen zwischen Malerei und Plastik und die Gesetze des Reliefs.* Berlin.

7180. J. Oughton. *On the secondary nature of monocular relief.* Lancet. 8. Juli. II. S. 8, 27, 62.

7181. P. Stroobant. *Nouvelles recherches sur l'agrandissement apparent des constellations, du soleil et de la lune à l'horizon.* Bull. de l'Acad. roy. de Belg. 3. X. No. 8.

7182. — *Récréations scientifiques. Curieuse illusion d'optique.* La Nature. XIII. (2.) S. 64.

1887.

7183. J. Hoppe. *Beitrag zur Erklärung des Erhaben- und Vertieftsehens.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 523.

7184. J. Loeb. *Dioptrische Fehler des Auges als Hülfsmittel der monocularen Tiefenwahrnehmung.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 371.

7185. J. Loeb. *Ueber die optische Inversion ebener Linienzeichnungen bei einäugiger Bet tung.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 274.

1888.

7186. M. Blondel. *Une association inséparable, l'agrandissement des astres à l'hoi* Rev. philos. XIII. Bd. 11. S. 489.

7187. E. Heuse. *Zwei kleinere Mittheilungen aus dem Gebiete der physiologischen (* Arch. f. Ophthalm. XXXIV. (2.) S. 127—134.

7188. J. Hoppe. *Die Umkehrung des Sehens und des Gesehenen mit Beziehung au gleichzeitige Sehabprägung.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLIII. S. 295

1889.

7189. M. Blondel. *L'agrandissement des astres à l'horizon.* Rev. philos. XIV. J Bd. 27. S. 197—199.

7190. B. Bourdon. *La vision des monuments élevés.* Rev. Scient. XLV. S. 763.

7191. Daudel. *A propos de la vision des monuments élevés.* Rev. Scient. XLIV. S.

7192. V. Egger. *La vision des monuments élevés.* Rev. Scient. XLIV. S. 745—747

7193. W. Hilker. *Versuche über die Fähigkeit der Schätzung nach der Tiefendime bei den verschiedenen Brechungszuständen der Augen, bei Sehschärfenherabsetzung beim Fehlen des binocularen Sehactes.* Inaug.-Diss. Marburg.

7194. A. Rémy. *La vision des monuments élevés.* Rev. Scient. XLIV. S. 237—239.

7195. F. Rozier. *La vision des monuments élevés.* Rev. Scient. XLIV. S. 1 u. 65 XLV. S. 668 u. 763.

1890.

7196. Prompt. *Remarques sur la sensation du relief, d'après une intéressante ill d'optique.* Arch. de Physiol. (5). II. S. 59—67.

7197. G. Sorel. *La vision des objets élevés.* Rev. Scientif. XLV. No. 18. S. 565.

1891.

7198. C. S. Cornelius. *Zur Theorie des räumlichen Vorstellens mit Rücksicht auf Nachbildlocalisation.* Zeitschr. f. Psychol. II. S. 64—179.

7199. C. St. Wake. *The third dimension in monocular vision.* The Open Court. Chi No. 179. 29. Jan.

1892.

7200. A. E. Bostwick. *Estimates of distance.* Science. XIX. S. 118.

1894.

7201. W. Filehne. *Die Form des Himmelsgewölbes.* Pflüger's Arch. Bd. 59. S. 279-

7202. F. Hillebrand. *Das Verhältniſs von Accommodation und Convergenz zur T localisation.* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 97—151.

## 2. Stereoskopie und binoculare Tiefenwahrnehmungen.

300 v. Chr.

7203. Euclides. *Optice et Katoptrice.*

1583.

7204. J. B. Porta. *De refractione.*

1613.

7205. F. Aguilonius. *Opticorum Libri VI.* Antwerpen.

1651.

7206. Leonardo da Vinci (geb. 1452, gest. 1519). *Trattato della pittura.* Rom.

1728.

7207. R. Smith. *Optics.* II. S. 388 und 526.

1792.

7208. W. C. Wells. *Essay upon single vision with two eyes.* London. 1792. Neue Au London 1818.

1811.

7209. W. C. Wells. *Observations and experiments on vision.* Phil. Trans.

1833.

7210. A. Mayo. *Outlines of human physiology.* S. 288.

1838.

7211. C. Wheatstone. *Contributions to the physiology of vision.* Part. I. *On some re able and hitherto unobserved phenomena of binocular vision.* Phil. Trans. I S. 371—394.

**1839.**

7212. C. Wheatstone. *Ueber das Sehen mit zwei Augen und das Stereoskop.* Pogg. Ann. Bd. 47. S. 625. — Bibl. Univ. N. S. Bd. XVII. S. 174.

**1841.**

7213. E. Brücke. *Ueber die stereoskopischen Erscheinungen.* Müller's Arch. S. 459.

**1842.**

7214. Tourtual. *Die Dimension der Tiefe im freien Sehen und im stereoskopischen Bilde.* Münster.

**1844.**

7215. D. Brewster. *Law of visible position in single and binocular vision and on the representation of solid figures by the union of dissimilar plane pictures in the retina.* Edinb. Phil. Trans. XV. — Philos Mag. XXIV. S. 356—439.

**1848.**

7216. F. C. Donders. *Ueber den Zusammenhang zwischen dem Convergiren der Sehaxen und dem Accommodationszustand der Augen.* Holl. Beiträge. I. S. 379.

**1850.**

7217. D. Brewster. *Notice of a chromatic stereoscope.* Edinb. Journ. XLVIII. S. 150. — Inst. No. 850. S. 128. — Philos Mag. (4.) III. S. 31. — Sill. Journ. (2.) XV. S. 289—290.

7218. J. Duboscq. *Description du stéréoscope de M. Brewster construit par lui.* Compt. Rend. XXXI. S. 895. — Bull. de la Soc. d'encour. d. sc. 1851. S. 45. — Dingler's polyt. Journ. CXX. S. 159. — Athenaeum. 1861. S. 1350.

7219. H. W. Dove. *Ueber das Binocularsehen prismatischer Farben und eine neue stereoskopische Methode.* Pogg. Ann. LXXX. S. 446. — Berl. Monatsber. S. 152. — Arch. de Genève. XIX. S. 219.

7220. — *Beschreibung mehrerer Prismenstereoskope und eines einfachen Spiegelstereoskops.* Pogg. Ann. LXXXIII. S. 183. — Berl. Monatsber. 1851. S. 246. — Philos Mag. (4.) II. S. 29. — Inst No. 937. S. 404.

7221. — *Ueber eine bei dem Doppeltsehen einer geraden Linie wahrgenommene Erscheinung.* Berl. Monatsber. S. 363. — Inst. No. 907. S. 128.

**1852.**

7222. J. Duboscq. *Nouveaux stéréoscopes.* Cosmos. I. S. 97—104, 703—705.

7223. D. Brewster. *Description of several new and simple stereoscopes for exhibiting, as solids, one or more representations of them on a plane.* Philos Mag. (4.) III. S. 16 bis 26. Trans. of Scott. Soc. of arts. 1849. Rep. of Brit. Assoc. 1849. 2. S. 5. Arch. d. sc. phys. XIX. S. 200—204. Dingler's polyt. Journ. CXXIV. S. 109—112. Sill. Journ. (2.) XV. S. 140—142, 288—289.

7224. — *Account of a binocular camera and of a method of obtaining drawings of full length and colossal statues.* Phil. Mag. (4.) III. S. 26—30. Trans. of Scott. Soc. of arts. 1849. Rep. of Brit. Assoc. 1849. 2. S. 5.

7225. — *Sur la vision binoculaire et le stéréoscope.* Cosmos. I. S. 422—425. North Brit. Rev. May.

7226. E. Wilde. *Ueber die Anwendung der Camera lucida zu einem Stereoskope.* Pogg. Ann. LXXXV. S. 63—67.

7227. C. Wheatstone. *Contributions to the physiology of vision. P. II. On some remarkable and hitherto unobserved phenomena of binocular vision.* Philos. Mag. (4.) III. S. 149—152, 504—523. Inst. S. 179—180. Arch. d. sc. phys. XIX. S. 196—200.

7228. H. Meyer. *Ueber die Schätzung der Grösse und der Entfernung der Gesichtsobjecte aus der Convergenz der Augenaxen.* Pogg. Ann. LXXXV. S. 198—207. Arch. d. sc. phys. XX. S. 137—138. Cosmos. I. S. 47.

7229. H. W. Dove. Pogg. Ann. LXXXV. S. 407—408.

**1853.**

7230. W. Rollmann *Notiz zur Stereoskopie* Pogg. Ann. LXXXIX. S. 350—351.

7231. — *Zwei neue stereoskopische Methoden.* Pogg. Ann. XC. S. 186—187. Zeitschr. f. Naturwiss. III. S 97—100. Fechner's Centralbl. 1855. S. 980—981

7232. W. Hardie. *Description of a new pseudoscope.* Philos. Mag. (4.) V. S. 442—446.

7233. C. Clarke. *Perfectionnements apportés au stéréoscope.* Cosmos. III. S. 123.

7234. Kilburn. *Stéréoscope-écrin.* Cosmos. III. S. 770.

**1854.**

7235. J. Duboscq. *Stéréoscope cosmoramique ou optique stéréoscopique* Cosmos. IV. S. 33—35.

7236. A. Claudet. *Theorie des images stéréoscopiques.* Cosmos. IV. S. 65—67.

7237. A. Claudet. *Angle stéréoscopique.* Cosmos. IV. S. 147.
7238. G. Knight. *On a stereoscopic cosmoramic lens.* Athenaeum. S. 1241—1 Cosmos. V. S. 240. Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 70.
7239. Moigno. *Invention du stéréoscope par réfraction.* Cosmos. V. S. 241.
7240. Smee. *Sur la perspective binoculaire.* Cosmos. V. S. 512—513.

**1855.**

7241. J. Czermak. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes.* Wien. Ber. XII. S. bis 366; XV. S. 425—466; XVII. S. 563—576.
7242. — *Das Stereophoroskop.* Wiener Ber. Bd. XV. S. 463.
7243. F. Burckhardt. *Ueber Binocularsehen.* Verh. d. naturf. Ges. in Basel. I. S bis 154.
7244. Soret. *Sur un phénomène de vision binoculaire.* Bibl. univ. de Genève. Oct

**1856.**

7245. W. B. Rogers. *Observations on binocular vision.* Sill. Journ. (2.) XXI. S. 80- S. 173—189; S. 439. Edinb. Journ. (2.) III. S. 210—217.
7246. D. Brewster. *On Mr. Roger's theory of binocular vision.* Proc. of Edinb. R. III. S. 356—358.
7247. — *The stereoscope, its history, theory and construction.* London.
7248. — *Réclamation de priorité.* Cosmos. VIII. S. 549—552.
7249. J. J. Oppel. *Notizen über Stereoskopie, insbesondere über eine einfache vergröß- Modification des Stereoskops ohne Spiegel und Gläser.* Jahresber. d. Frankf. 1855—1856. S. 37—56.
7250. Faye. *Sur un nouveau système de stéréoscope.* Compt. Rend. XLIII. S. 673- Pogg. Ann. XCIX. S. 641—642. Cosmos. IX. S. 374—375. Inst. S. Arch. de sc. phys. XXXIII. S. 221. Dingler's polyt. Journ. CXLIII. S.
7251. Zinelli. *Neue Methode, die Bilder im Relief zu sehen.* Zeitschr. f. Mathem 1. S. 320—321. — Horn's photogr. Journ. No. 10. — Dingler's polyt. Journ. S. 315.
7252. H. Goldschmidt. *Sur la vision stéréoscopique.* Cosmos IX. S. 657.
7253. H. Meyer. *Beitrag zur Lehre von der Schätzung der Entfernung aus der Conv der Augenaxen.* Arch. f. Ophthalm. II. (2.) S. 92—94.
7254. J. M. Hessemer. *Ueber die Anfertigung stereoskopischer Bilder.* Dingler's Journ. LXXXIX. S. 111—121.
7255. Lugeol. *Stereoscopic experiment.* Sill. Journ. (2.) XXII. S. 104.
7256. Sutton. *Sur la théorie du stéréoscope.* Cosmos. IX. S. 313—319.
7257. A. Claudet. *On various phenomena of refraction through semilenses or prisms ducing anomalies in the illusion of stereoscopic images.* Proc. of R. Soc. S. 104—110. Athenaeum. S. 1029. Cosmos. XI. S. 283—285. Inst. S. Philos. Mag. (4.) XIII. S. 71—75. Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 9—10.
7258. C. Wheatstone. *Réponse aux assertions de Sir D. Brewster.* Cosmos. VIII. S bis 628.

**1857.**

7259. H. W. Dove. *Ueber die Unterschiede monocularer und binocularer Pseudoskopie.* Monatsber. S. 221—226. Pogg. Ann. CI. S. 302—308.
7260. — *Darstellung von Körpern durch Betrachtung einer Projection derselben verm eines Prismenstereoskops.* Berl. Monatsber. S. 291.
7261. A. Cima. *Sopra un nuovo fenomeno di stereoscopia.* Cimento. VI. S. 185- Compt. Rend. XLV. 664. Philos. Mag. (4.) XIV. S. 480. Pogg. Ann. S. 319. Inst. S. 364—365. Cosmos. XI. S. 353—354.
7262. J. G. Halske. *Stereoskop mit beweglichen Bildern.* Pogg. Ann. C. S. 657-
7263. J. Elliot. *The telescoping stereoscope.* Philos. Mag. (4.) XIII. S. 78. Journ. (2.) XXIII. S. 292.
7264. — *On two new forms of the stereoscope, intended for the purpose of uniting binocular pictures.* Philos. Mag. (4.) XIII. S. 104—108; 218—219.
7265. H. Helmholtz. *Das Telestereoskop.* Pogg. Ann. CI. S. 494—496; CII. S bis 175. — Verh. d. naturh. Ver. d. Rheinl. S. 79—81. — Ann. d. chim. (3. S. 118—124. — Philos. Mag. (4.) XV. S. 19—24. — Inst. 1858. S. 63—64. — Journ. (2.) XXV. S. 297—298. — Dingler's polyt. Journ. CXLIV. S. 268- Polytechn. Centralbl. S. 1449—1450; 1858. S. 180—186. — Cimento. VI. S. bis 240. — Cosmos. XI. S. 352—353.

7266. J. Duboscq. *Note sur une nouvelle disposition de stéréoscope à prismes réfringents, à angle variable et lentilles mobiles.* Compt. Rend. XLIV. S. 148—150. — Cosmos. X. S. 91—92.

7267. W. Crookes. *Théorie des images stéréoscopiques.* Cosmos. X. S. 461—462.

7268. D. Brewster and C. Wheatstone. Liverpool and Manchester Photographic Journ. January 1. S. 4—7; January 15. S. 21—23. *(Prioritätsstreit.)*

7269. C. Wheatstone. *The original invention of the stereoscope.* The Liverpool and Manchester Photographic Journ. No. 1 u. 2.

7270. J. J. Oppel. *Bemerkungen zur Stereoskopie, insbesondere zur Erklärung des Glanzes zweifarbiger Bilder.* Pogg. Ann. Bd. 100. S. 462.

**1858.**

7271. H. W. Dove. *Ueber den Einfluſs des Binocularsehens bei Beurtheilung der Entfernung durch Spiegelung und Brechung gesehener Gegenstände.* Berl. Monatsber. S. 312 bis 315. — Pogg. Ann. CIV. S. 325—329. — Inst. S. 282—283.

7272. W. Hardie. *On the telestereoscope.* Philos. Mag. (4.) XV. S. 156—157. *(Prioritätsreclamation.)*

7273. Smith and Beck. *Improvements to the stereoscope.* Athenaeum. II. S. 269—270.

7274. A. Boblin. *Expérience d'optique permettant d'obtenir d'une seule épreuve photographique la sensation d'un corps en relief.* Bull. de Brux. (2.) V. S. 304—306. Inst. S. 431—432. Compt. Rend. XLVII. S. 444.

7275. A. Claudet. *On the stereomonoscope.* Philos. Mag. (4.) XVI. S. 462—463. Proc. of Roy. Soc. IX. S. 194—196. Dingler's polyt. Journ. CLI. S. 72—73. Cosmos. XII. S. 493.

7276. J. C. D'Almeida. *Nouvel appareil stéréoscopique.* Compt. Rend. XLVII. S. 61—63.

**1859.**

7277. F. v. Recklinghausen. *Netzhautfunctionen.* Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 127 bis 179. — Pogg. Ann. CX. S. 65—92.

7278. E. Brücke. *Eine Dissectionsbrille.* Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 181—183.

7279. H. W. Dove. *Stereoskopische Darstellung eines durch einen Doppelspath binocular betrachteten Typendrucks.* Berl. Monatsber S. 278—280. Pogg. Ann. CVI. S. 655 bis 657. Philos. Mag. (4.) XVII. S. 414—415.

7280. — *Anwendung des Stereoskops, um einen Druck von seinem Nachdruck, überhaupt ein Original von seiner Copie zu unterscheiden.* Berl. Monatsber. S. 280 bis 288. Pogg. Ann. CVII. S. 657—660. Phil. Mag. (4.) XVII. S. 415—417. Dingler's polyt. Journ. CLIII. S. 451—454. Polytechn. Centralbl. S. 741—744.

7281. J. Müller. *Stereoskopische Mondphotographie.* Pogg. Ann. CVII. S. 660. — Ber. d. Freib. Ges. II. S. 67. — Dingler polyt. Journ. CLIII. S. 75.

7282. W. de la Rue. *Report of the present state of celestial photography in England. Stereoscopic pictures of the moon.* Rep. of. Bris. Assoc. 1. S. 143—145. Cosmos. XV. S. 519—521.

7283. — *Stereoscopic pictures of the larger planets.* Rep. of Brit Assoc. 1. S. 148—149.

7284. J. J. Oppel. *Ueber das Einfachsehen doppelter Bilder bei gekreuzten Augenaxen.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1858—59. S. 22—38, S. 64—75.

7285. Samuel. *On an early form of the lenticular stereoscope constructed for the use of schools.* Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 19.

7286. H. W. Dove. *Optische Studien. Fortsetzung der in der Farbenlehre enthaltenen* Berlin. (Sammlung der bisher citirten Aufsätze.)

7287. J. Beck. *On producing the idea of distance in the stereoscope.* Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 7.

7288. E. Doulliot. *Sulla percezione dei rilievi nello stereoscopio e nella natura.* Cimento. X. S. 342—352.

**1860.**

7289. P. Volpicelli. *Di uno stereoscopio diaframmato.* Cimento. XII. S. 181—189.

7290. J. Beck. *Verbesserungen an Stereoskopen.* Lond. Journ. of arts. Juni. Dingler's polyt. Journ. CLVII. S. 277—278.

7291. H. W. Dove. *Ueber die Nicht-Identität der Gröſse der durch Prägen und Guſs in derselben Form von verschiedenen Metallen erhaltenen Medaillen.* Pogg. Ann. CX. S. 498—499. Philos. Mag. (4.) XX. S. 327. Dingler's polyt. Journ. CLVII S. 280—281.

7292. A. Rollet. *Physiologische Versuche über binoculares Sehen* [illegible] *planparalleler Glasplatten.* Wien. Ber. XLII. S. 488—502.
7293. E. Brücke. *Ueber prismatische Brillen.* Wien. med. Wochenschr. 9. J
7294. Giraud Teulon. *Über prismatische Brillen.* Compt. Rend. Bd. L. S.
7295. T. W. Jones. *On the invention of stereoscopic glasses for single pict preliminary observations on the stereoscope and on the physiology of stereosco* London.
7296. F. August. *Ueber eine neue Art stereoskopischer Erscheinungen.* Pogg. Ann S. 582.
7297. C. G. Th. Ruete. *Das Stereoskop.* Leipzig.
7298. Rogers. *Some experiments and inferences on regard to binocular vision.* the Amer. Assoc. S. 187.
7299. F. v. Recklinghausen. *Zur Theorie des Sehens.* Pogg. Ann. Bd. 110. S

1861.

7300. W. Wundt. *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* Vierte Abhan *das Sehen mit zwei Augen.* Henle und Pfeuffer's Zeitschr. (3.) XII. S. Pogg. Ann. CXVI. S. 617—628. (Die citirten Aufsätze sind gesammelt unter dem Titel: W. Wundt, *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung* u. Heidelberg. 1862.)
7301. O. Becker und A. Rollet. *Beiträge zur Lehre vom Sehen der dritten* Wien. Ber. XLIII. (2.) S. 667—706.
7302. H. W. Dove. *Ueber Binocularsehen und subjective Farben.* Berl. S. 521 522. Pogg. Ann. CXIV. S. 163—165.
7303. F. Rossetti. *Della visione binoculare.* Venezia.
7304. J. J. Oppel. *Bemerkungen über Accommodation beim stereoskopischen Sehen.* d. Phys. Ver. Frankfurt a. M. 1860/61. S. 48.
7305. F. Giraud-Teulon. *Physiologie et pathologie fonctionelle de la vision* Avec. 114 Fig. Paris.
7306. L. v. Babo. *Ueber die stereoskopische Darstellung mikroskopischer G* Ber. d. Freiburger Ges. II. S. 312—314.
7307. T. du Moncel. *Rapport sur les appareils stéréoscopiques de Mr. Ph.* Bull. de la Soc. d'encour. 1. S. 198—201.

1862.

7308. J. Towne. *The stereoscope and stereoscopic results.* Guy's Hosp. Rep. 18 S. 103. XI. S. 144 180.
7309. E. Hering. *Beiträge zur Physiologie.* Leipzig. 1861—1864. 2. bis 5. H
7310. A. Rollet. *Physiologische Versuche über binoculares Sehen.* Wien.

1863.

7311. H. Pick. *Ueber das Stereoskop.* Wien.

1864.

7312. [illegible] *Exposé des avantages de l'ophthalmoscope binoculaire.* [illegible]
7313. W. v. Bezold. *Zur Lehre vom binocularen Sehen.* Sitzgs.-Ber. [illegible] d. Wiss. S. 372 381.

1865.

7314. W. v. Bezold. *Ueber binoculares Sehen.* Zeitschr. f. [illegible] I. S. [illegible]
7315. A. Claudet. [illegible] [illegible] Athen. S. 574. Rep. Brit. Assoc. [illegible]
7316. [illegible] [illegible]
7317. [illegible] Verhandl. [illegible] zu Heidelberg. [illegible] Jahrb. [illegible] S. [illegible]
7318. [illegible] *Die [illegible] der binocularen [illegible]wahrnehmung.* [illegible] [illegible] S. [illegible]
7319. J. Towne. *The stereoscope and stereoscopic results.* Guy's Hosp. [illegible]

1866.

7320. W. v. Bezold. *Ueber binoculares Sehen. Nachtrag.* Zeitschr. f. [illegible]
7321. [illegible] [illegible] Arch. f. Ophthalm. [illegible]
7322. [illegible] *des Kommen der stereoskopischen Wahrnehmung.* [illegible]

323. F. C. Donders. *Het binoculaire zien en de voorstelling der derde dimensie.* Verslag Ned. Gasth. voor Oogl. No. 7. S. 101. Nederl. arch. voor Genees en Natuurk. II. S. 303.
324. F. C. Donders und Doijer. *La vision binoculaire et la perception de la troisième dimension.* Amsterdam.
325. E. Javal. *Sur un instrument nommé „iconoscope", destiné à donner du relief aux images planes examinées avec les deux yeux.* Compt. Rend. LXIII. S. 927—928.

1867.

326. W. v. Bezold. *Ueber binoculares Sehen.* Pogg. Ann. CXXX. S. 424—433. Philos. Mag. (4.) XXXIII. S. 326—332.
327. A. Claudet. *On a new fact relating to binocular vision.* Philos. Mag. (4.) XXXIII. S. 549—554. Proc. Roy. Soc. XV. S. 424—429.
328. H. W. Dove. *Optische Notizen: III. Ueber Inversionen bei binocularer und monocularer Betrachtung perspectivischer Zeichnungen und durchsichtiger Körper.* Pogg. Ann. CXXXII. S. 474—479.
329. F. C. Donders. *Das binoculare Sehen und die Vorstellung von der dritten Dimension.* Arch. f. Ophthalm. XIII. (1.) S. 1.
330. E. Mach. *Ueber wissenschaftliche Anwendung der Photographie und Stereoskopie.* Wien. Ber. LIV. 2. S. 123—126.
331. C. Maxwell. *On a real image stereoscope.* Athenäum. 2. S. 337.
332. G. Th. Ruete. *Das Stereoskop.* 2. Aufl. Leipzig.
333. Serré d'Uzès. *Recherches expérimentales sur la vision binoculaire.* Gaz. des Hôpit. No. 72. S. 286.
334. J. Towne. *Contributions to the physiology of binocular vision.* Proc. of the roy. soc. of London. XV. S. 424.

1868.

335. H. Helmholtz. *De la production de la sensation du relief dans l'acte de la vision binoculaire.* Compt. Rend. du Congr. intern. d'Ophthalm. Paris. S. 53—58. — Zehender's Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. V. S. 270—271.
336. J. Martius-Matzdorff. *Die interessanten Erscheinungen der Stereoskopie.* Berlin.
337. Rollmann. *Pseudoskopische Erscheinungen.* Pogg. Ann. CXXXIV. S. 615—618.
338. R. Staudigl. *Grundzüge der Reliefperspective.* Wien.

1869.

339. J. Le Conte. *On some phenomena of binocular vision.* Philos. Mag. (4.) XXXVII. S. 131—140. XXXVIII. S. 179—204. Sill. Journ. (2.) XLVII. S. 68—77. S. 153 bis 178. Americ. Journ. of sc. XLVII. No. 140. S. 153.
340. J. B. Listing. *Ueber eine neue Art stereoskopischer Wahrnehmung.* Gött. Nachr. No. 21. S. 431—455. Klin. Monatsbl. S. 29.
341. Sylvester. *Sur une représentation stéréoscopique de l'eikosiheptagramme cubique de Mr. le professeur Chr. Wiener.* Mondes. (2.) XXI. S. 412.

1870.

342. F. Kohlrausch. *Ueber eine durch die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes hervorgebrachte stereoskopische Wirkung.* Gött. Nachr. S. 415—416. — Pogg. Ann. Bd. 143. S. 144—147.
343. J. B. Listing. *Ueber eine neue Art stereoskopischer Wahrnehmung.* Pogg. Ann. CXLI. S. 225—245.
344. C. G. Th. Ruete. *20 stereoskopische Bilder.* Leipzig.
345. J. Towne. *Contributions the physiology of binocular vision.* Guy's Hosp. Rep. XV. S. 180—214. Med. Centralbl. S. 118.

1871.

346. H. Dor. *Das Stereoskop und das stereoskopische Sehen.* Basel.
347. C. F. Hennes. *Contribution to the subject of binocular vision.* Frankl. Journ. LXII. S. 263. Mech. Mag. XXVI. S. 393 u. 470.
348. J. le Conte. *On binocular vision.* Sill. Journ. (3.) I. S. 33—44 II. S. 1—10. S. 317—323 u. 417—426.
349. — *Sur les images d'illusion et sur la théorie du relief binoculaire.* Arch. sc. phys. (2.) XLI. S. 394—422.
350. J. J. Müller. *Ueber den Einfluſs der Raddrehung der Augen auf die Wahrnehmung der Tiefendimension.* Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 6. Mai. 23. S. 125 bis 131.

7351. E. SANG. *Experiments and observations on binocular vision.* Proc. of soc. of Edinb. VII. S. 133.

1872.

7352. F. C. DONDERS. *De stereoskopische combinatie na operatie van scheelzien, en tegen de empiristische theorie.* Onderzoek. ged. het Physiol. Lab. d. Ut Hoogeschool. Derde Reeks. I. S. 83.

7353. H. DOR. *Quelques mots sur la vision binoculaire.* Arch. des sc. Mars. (2. S. 61—95.

7354. TAIT. *Expériences et observations sur la vision binoculaire.* Mondes. (2.) XXVI

1873.

7355. G. FRITSCH. *Ueber das stereoskopische Sehen im Mikroskop und I stereoskopischer Mikrotypien auf photographischem Wege.* Festschr. d naturf. Freunde zu Berlin.

7356. J. HOPPE. *Das stereoskopische Sehen.* Basel. 89 S.

7357. KRAMER. *Ueber die Entstehung der räumlichen Tiefenwahrnehmung.* Progr. zu Schleusingen. 1872/73.

7358. VAN DER MEULEN. *Stereoskopie bei unvollkommenem Sehvermögen.* Arch. f. XIX. (1.) S. 100—136.

1874.

7359. BÖTTCHER. *Zur Theorie und Construction stereoskopischer Instrumente f schaftliche Diagnostik.* Arch. f. Ophthalm. XX. 2. S. 182.

7360. J. ARTHA V. HASNER. *Die Tiefenempfindung der Coordinatenverwandlu* Vierteljahrsschr. S. 123.

7361. J. HOPPE. *Das stereoskopische Anschauen der beiden Hälften einer durch stereoskopischen Photographie unter Auseinanderrücken oder Zusammenschie beiden Hälften.* Memorab. XIX. S. 149—158.

7362. — *Ueber den Einfluſs des Augenconvergenzgrades auf die scheinbare G Entfernung der Gegenstände; der Meyer'sche Versuch.* Deutsch. Klin. N

1875.

7363. M. DEVIC. *Ein optisches Phänomen.* Pogg. Ann. Bd. 156. S. 336. Com Bd. 79. S. 96.

7364. E. DREHER. *Zur Theorie des Sehens.* Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 417-

7365. H. EMSMANN. *Zum binocularen Sehen.* Pogg. Ann. CLVI. S. 307—312.

7366. GIRAUD-TEULON. *Sur une nouvelle méthode et sur un nouvel instrument de (mesure rapide des distances).* Compt. Rend. LXXX. S. 1379.

7367. J. LE CONTE. *On some phenomena of binocular vision.* Americ. Journ. Arts. (3.) IX. No. 51. S. 159—171.

7368. A. RIGHI. *Sulla visione stereoscopica.* Nuovo Cimento. 2. XIV. S. 55—1

1876.

7369. DÖNHOFF. *Beiträge zur Physiologie. III. Instinctmäſsiges Tiefensehen.* u. du Bois-Reymond's Archiv. S. 238—240.

7370. G. F. HETSCH. *Anleitung zum Studium der Perspective und deren A* Nach dem Dänischen bearbeitet von J. Scholz. Leipzig, Weigel. 133 S.

7371. J. HIRSCHBERG. *Optische Notizen.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Jahrg. 18 bis 629.

7372. TH. HUGEL. *Die Stereoskopie gestützt auf orthogonale Coordinaten.* Zeitsch Naturwiss. (2.) XIV. S. 270.

7373. STEINHAUSER. *Stereoskopische Wandtafeln.* Carl's Rep. XII. S. 389—39

1877.

7374. TRAPPE. *Eine optische Täuschung.* Wiedem. Ann. II. S. 141—144.

1878.

7375. H. HELMHOLTZ. *Ueber die Bedeutung der Convergenzstellung der Augen fü urtheilung des Abstandes binocular gesehener Gegenstände.* Arch. f. Anat. u Physiol. Abth. S. 322—324. — Verhandl. d. Berl. physiol. Ges. 1877—187 S. 57—59.

7376. W. SCHÖN. *Zur Lehre vom binocularen Sehen.* Arch. f. Ophthalm. XXIV. 1. S u. 4. S. 47—116.

7377. STEINHAUSER. *Die mathematischen Beziehungen zwischen dem Stereoskope zu demselben gehörigen Bildern.* Carl's Repertorium f. Experimentalphysi S. 433.

1880.

i. J. LE CONTE *On some phenomena of binocular vision: laws of ocular motion.* New Haven.

1881.

). J. LE CONTE. *Some phenomena of binocular vision.* Sill. Journ. XX. S. 83—93.
). H. HELMHOLTZ. *Note on stereoscopic vision.* Philos. Mag. (5.) XI. S. 507—508.
!. E. LANDOLT. *Un télémètre.* Ann. d'Oculist. Bd. 85. S. 77—83
!. — *Une modification de mon télémètre.* Arch. d'ophthalm. I. 3. S. 212—220.
l. W. LE CONTE STEVENS. *The stereoscope and vision by optic divergence.* Sill. Journ. (3.) XXI. 132. S. 443—456. XXII. S. 358—362.
. — *On Wheatstone's and Brewster's theory of binocular perspective.* Philos. Mag. (5.) XII. S. 436—444.

1882.

). J. BIELEFELD. *Das stereoskopische Sehen nach Schieloperationen.* Diss. Würzburg
l. W. LE CONTE STEVENS. *A new form of reversible stereoscope.* Americ. Journ. of Sc. No. 135. S. 226.
7. — *Notes on physiological optics.* Phil. Mag. (5.) XIV. S. 312.
3. — *Notes on physiological optics.* No. 3: *Theory of associated muscular action. — Relation between different elements of binocular perspective. — A new mode of Stereoscopy.* Amer. Journ. of Sc. Vol. XXIII. S. 290—302.
). — *Notes on physiological optics.* No. 4: *Voluntary control of focal accommodation. — Effect of muscular effort on retinal sensitiveness. — Relation of axial adjustement to focal accommodation etc.* Sill. Journ. XXIII. S. 346.
). — *Notes on physiological optics.* No. 5: *Vision by the light of the electric spark.* Amer. Journ. of Sc. Vol. XXIV.

1883.

!. T. W. BACKHOUSE. *Physiological optics.* Amer. Journ. Sc. (3.) XXVI. S. 305.
2. R. BERLIN. *Ueber Tiefenwahrnehmung bei Thieren mit Demonstration eines Apparates.* Ber. über d. 15. Vers. d. Heidelb. ophthalm. Ges. S. 181.
3. BURMESTER. *Grundzüge der Reliefperspective.* Leipzig. Mit 3 Taf.

1884.

l. GOVI. *Intorno a una deformazione prospettica delle imagine vedute nei cannocchiale.* Compt. Rend. XCIX. S. 480.
i. HEUSE. *Eine stereoskopische Erscheinung in der rotirenden Bildertrommel.* Arch. f. Ophthalm. XXX. (1.) S. 159.
i. J. OUGHTON. *The secondary nature of binocular relief.* Lancet. Juli. S. 13 u. 58.

1885.

!. L. CAZES. *De l'obtention par la photographie des épreuves stéréoscopiques à perspective exacte.* Journ. de phys. 2. IV. S. 314—316.
3. F. C. DONDERS. *Ueber Stereoskopie durch Farbendifferenz.* Ber. d. 18. Vers. d. ophthalm. Ges. S. 82 u. 86
). W. EINTHOVEN. *Stereoskopie durch Farbendifferenz.* Graefe's Arch. XXXI. (3.) S. 211—238. Arch. Néerl. Sc. exact. et nat. XX. S. 361—367.
). EWALD. *Demonstration eines Stereoskops.* Tagebl. d. 58. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Strafsburg. S. 215.

1886.

l. R. ANCKE. *Stereoskopenbilder.* Tagebl. d. 59. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 222.
2. W. EINTHOVEN. *Stereoscopie door kleurverschil.* Nederl. Gasth. voor Ooglijders. 27. Versl. Bybladen. S. 1. — Sep. Utrecht.
3. STROH. *On a new form of Stereoscope.* Proc. of the Roy. Soc. of London XL. S. 317.

1887.

4. W. W. ANDERSON. *Stereoscopic vision.* Science. IX. S. 56.
5. J. LE CONTE. *Some peculiarities of the phantom images formed by binocular combination of regular figures.* Sill. Journ. XXXIV. S. 97.
6. W. KROLL. *Stereoskopische Bilder* (25 Tafeln.) Hamburg u Leipzig. L. Voss.
7. SOUS. *Vision binoculaire et réfraction.* Rev. clin. d'ocul No. 10.
8. W. LE CONTE STEVENS. *Stereoscopic vision.* Science. IX. S. 14.

## § 31.

# Das binoculare Doppeltsehen.

**118.**

38. Galenus. *De usu partium.* Lib. X. Cap. 12.

**1593.**

39. J. B. Porta. *De refractione.* S. 142.

**1611.**

40. Keppler. *Dioptrice.* Propos. LXII.

**1613.**

41. F. Aguilonius. *Opticorum libri VI.* Antwerpen

**1658.**

42. Gassendi *Opera.* Vol. II. S. 395.

**1669.**

43. Tacquet. *Opera mathematica.*

**1671.**

44. Rohault. *Traité de physique.* Paris 1671 u. 1682. Part. I. Cap. 31.

**1704.**

45. J. Newton. *Optice.* Quaestio XXV.

**1743.**

46. Du Tour. *Act.* Paris. S. 334.

**1759.**

47. Porterfield. *On the eye.* II. S. 285.

**1760.**

48. Du Tour. *Pourquoi un objet sur lequel nous fixons les yeux, paroit-il unique?* Mém. des savants étrangers. III. S. 514. IV. S. 499. V. S. 677.

**1818.**

49. G. U. A. Vieth. *Ueber die Richtung der Augen.* Gilbert's Ann. LVIII. S. 233.

50. W. C. Wells. *Upon single vision with two eyes.* London.

**1824.**

51. W. H. Wollaston. *On the semi-decussation of the optic nerves.* Philos. Transact. I. S. 222. Edinb. Philos. Journ. XXII. S. 420. Ann. of Philos. April. S. 306.

**1826.**

52. Joh. Müller. *Beiträge zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig.

**1827.**

53. Tourtual. *Die Sinne des Menschen.* S. 234.

**1833.**

54. C. Wheatstone. *On some remarkable and hitherto unobserved phenomena of binocular vision.* Phil. Transact. P. II. S. 384—385.

**1839.**

55. F. G. Ender. *De horoptere et strabismo.* Diss. Berlin.

**1840.**

56. Joh. Müller. *Handbuch der Physiologie des Menschen.* Coblenz. Bd. II. S. 376—387.

**1841.**

57. E. Brücke. *Ueber die stereoskopischen Erscheinungen.* J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 459.

58. H. W. Dove. Berl. Monatsb. 29. Juli.

**1843.**

59. A. P. Prévost. *Essai sur la théorie de la vision binoculaire.* Genève. Pogg. Ann. LXII. S. 548.

**1844.**

60. D. Brewster. *Law of visible position in single and binocular vision.* Edinb. Philos. Trans. XV.

7488. F. v. Recklinghausen. *Netzhautfunctionen.* Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 127 bis 179. Pogg. Ann. CX. S. 65—92.

7489. L. Gemündt. *Ueber das binoculare Doppeltsehen.* Würzburg.

**1860.**

7490. F. August. *Ueber eine neue Art stereoskopischer Erscheinungen.* Pogg. Ann. CX. S. 582—598. Phil. Mag. (4.) XX. S. 329—336. Ann. de chim. (3.) LX. S. 506—509.

7491. W. Rogers. *Some experiments and inferences in regard to binocular vision.* Edinb. Journ. (2.) XII. S. 285—287. Sill. Journ. (2.) XXX. S. 387—390; 404—409. Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 17—18.

7492. H. W. Dove. *Ueber Stereoskopie (gegen v. Recklinghausens Zweifel betreffs der electrischen Beleuchtung stereoskopischer Bilder).* Pogg. Ann. CX. S. 494—498.

7493. F. Giraud-Teulon. *De l'unité de jugement ou de sensation dans l'acte de la vision binoculaire.* Compt. Rend. LI. S. 17—20. Cosmos. XVII. S. 24—27. Inst. S. 217.

7494. — *De l'influence sur la fonction visuelle binoculaire des verres de lunettes convexes et concaves.* Paris.

7495. T. Hayden. *Sulla funzione della macchia gialla del Sömmering nel produrre l'unità della percezione visuale nella visione binoculare.* Cimento. XI. S. 255—257.

**1861.**

7496. A. Nagel. *Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen Netzhautstellen.* Leipzig u. Heidelberg. S. 1—184. Verh. d. naturh. Ver. d. Rheinl. XVII. Sitzgs.-Ber. S. 9—12.

7497. F. v. Recklinghausen. *Zum körperlichen Sehen.* Pogg. Ann. CXIV. S. 170 bis 173. (Die Wirkung instantaner Beleuchtung betreffend.)

7498. W. Wundt. *Ueber das Sehen mit zwei Augen.* Henle u. Pfeuffer. (3.) XII. S. 145—262.

7499. P. L. Panum. *Ueber die einheitliche Verschmelzung verschiedenartiger Netzhauteindrücke beim Sehen mit zwei Augen.* Reichert's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 63 bis 111; 178—227.

7500. F. Burckhardt. *Die Empfindlichkeit des Augenpaars für Doppelbilder.* Pogg. Ann. CXII. S. 596—606. Verh. d. naturh. Ges. in Basel. III. S. 33—44.

7501. O. N. Rood. *On the relation between our perception of distance and colour.* Sill. Journ. XXXII. S. 184—185.

**1862.**

7502. H. Helmholtz. *Ueber die Form des Horopters, mathematisch bestimmt.* Verhandl. d. naturhist. med. Ver. zu Heidelberg. Bd. III. S. 51—55.

7503. Bahr. *Ueber die Nichtexistenz identischer Netzhautstellen.* Arch. f. Ophthalm. VIII. (2.) S. 179—184.

7504. A. Nagel. *Ueber die ungleiche Entfernung von Doppelbildern, welche in verschiedener Höhe gesehen werden.* Arch. f. Ophthalm. VIII. (2.) S. 368—387.

7505. E. Hering. *Beiträge zur Physiologie.* 2. bis 5. Heft. Leipzig. 1862—1864.

7506. W. Wundt. *Ueber binoculares Sehen.* Pogg. Ann. Bd. 116. S. 617.

**1863.**

7507. L. Hermann. *Notiz über die Gestalt der Horopterfläche bei convergenten Secundärstellungen.* Centralbl. f. med. Wiss. No. 51.

7508. J. Towne. *The stereoscope and stereoscopic results.* Guy's Hosp. Rep. 1862 bis 1865.

7509. F. C. Donders. *Die Refractionsanomalien des Auges und ihre Folgen.* Arch. f. d. holländ. Beitr. III. S. 358. Pogg. Ann. CXX. S. 452.

7510. A. W. Volkmann. *Vorläufige Mittheilung uber den Horopter und die Axendrehung des Auges.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 51.

7511. — *Ueber identische Netzhautstellen.* Berl. Monatsber. August. (Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane.)

7512. H. Helmholtz. *Ueber die normalen Bewegungen des menschlichen Auges.* Arch. f. Ophthalm. IX. (2.) S. 188—190 (Dieselbe Abweichung beschrieben.)

7513. E. Hering. *Ueber W. Wundt's Theorie des binocularen Sehens.* Pogg. Ann. CXIX. S. 115.

7514. W. Wundt. *Ueber Dr E. Hering's Kritik meiner Theorie des Binocularsehens.* Pogg. Ann. CXX. S. 172.

7515. E. Javal. *Note sur un moyen nouveau de choisir les verres prismatiqu[e] le strabisme.* Ann. d'Ocul. L. S. 316.

**1864.**

7516. E. Hering. *Das Gesetz der identischen Sehrichtungen.* Reichert u. du Bois-Rey[mond's] Arch. S. 27.
7517. — *Bemerkungen zu Volkmann's neuen Untersuchungen über das Binocula[ren]* Reichert u. du Bois-Reymond's Arch. S. 303.
7518. — *Zur Kritik der Wundt'schen Theorie des binocularen Sehens.* Pogg. Ann. B[d.] S. 476.
7519. W. v. Bezold. *Zur Lehre vom binocularen Sehen.* Sitzgs-Ber. d. Kgl. Akad. Math. phys. Kl. 10. Decbr.
7520. Hankel. *Mathematische Bestimmung des Horopters.* Pogg. Ann. Bd. 122.
7521. H. Helmholtz. *Ueber den Horopter.* Arch. f. Ophthalm. X. S. 1—60.
7522. — *Ueber den Horopter.* Heidelb. Jahrb. f. 1864. S. 340—342.
7523. — *Bemerkungen über die Form des Horopters.* Pogg. Ann. CXXIII. S. 158
7524. — *On the normal motions of the human eye in relation to binocular vision.* of London. Roy. Soc. Vol. XIII. S. 186—199.

**1865.**

7525. D. Brewster. *On Hemiopia or half-vision.* Philos. Mag. (4.) XXIX. S. 506—5 Edinb. Trans. XXIV. S. 15—18.
7526. H. Aubert. *Physiologie der Netzhaut.* S. 280—331.
7527. E. Hering. *Die Gesetze der binocularen Tiefenwahrnehmung.* Reichert u. du [Bois-]Reymond's Arch. S. 79.
7528. A. Graefe. *Ueber einige Verhältnisse des Binocularsehens bei Schielende[n] Beziehung auf die Lehre von der Identität der Netzhäute.* Arch. f. Ophthalm. [X]. S. 1—46.
7529. W. v. Bezold. *Zur Lehre von den identischen Netzhautpunkten.* Zeitschr. f I. S. 170—179.
7530. Dastich. *Ueber das Zustandekommen der räumlichen Gesichtsanschauung un[ter Be]rücksichtigung der physiologischen Mitbedingungen.* Kgl. böhm. Ges. d. Wiss. Sect. 6. Nov.
7531. — *Ueber die neueren physiologisch-psychologischen Forschungen im Gebi[ete der] menschlichen Sinne.* Abh. d. Böhm. Ges. (5.) XIII. S. 48—64.
7532. E. Hering. *Gegenbemerkung über die Form des Horopters.* Pogg. Ann. Bd. 124.

**1866.**

7533. Böttcher. *Ueber Augenbewegungen und binoculare Perspective.* Arch. f. Oph[thalm.] XII. (2.) S. 22—99.
7534. G. B. W. Goedicke. *De perturbationibus visus binocularis.* Berlin.

**1868.**

7535. E. Hering. *Die Lehre vom binocularen Sehen.* Leipzig. Erste Liefer.
7536. — *Bemerkung zu der Abhandlung von Donders über das binoculare Seh[en]* f. Ophthalm. XIV. (1.) S. 1.
7537. C. Schweigger. *Das Gesetz der identischen Netzhautpunkte und die Lehre vom S[ehen]* Verh. d. Berl. med. Ges. i. d. J. 1867 68. S. 1—13 u. 18—19.

**1869.**

7538. H. Kaiser. *Der Modus des Binocularsehens.* Arch. f. Augen- u. Ohrenh. I. S. 130.
7539. — *Zur Lehre vom Horopter.* Arch. f. Ophthalm. XV. (1.) S. 75—128.

**1870.**

7540. A. Classen. *Ueber Widerwillen gegen Einfachsehen nach der Operation [...] internus. Ein Beitrag zur Theorie der identischen Netzhautstellen.* Graefe's XVI. (1.) S. 123.
7541. J. Towne. *Contributions to the physiology of binocular vision.* Guy's Hosp. Vol. XV. S. 180—214.
7542. M. Woinow. *Ueber das Verhalten der Doppelbilder bei Augenmuskellähmungen.*
7543. — *Beiträge zur Lehre vom binocularen Sehen.* Arch. f. Ophthalm. X[VI]. S. 200—211.

**1871.**

7544. J. Le Conte. *On some phenomena of binocular vision.* Americ. Journ. of S[cience] and Arts. (3.) I. S. 33—34. II. S. 1—10. 315—323. 417—428.

7545. CUIGNET. *De la vision chez le tout jeune enfant.* Ann. d'Ocul. LXVI. S. 117—126.
7546. F. C. DONDERS. *Zur Theorie der correspondirenden Netzhautpunkte.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 471.
7547. E. JAVAL. *Du strabisme.* Ann. d'Oculist. LXV. S. 97—112.
7548. R. PICTET. *Sur la vision binoculaire.* Arch. d. sc. phys. (2.) XL. S. 105—152. Bibl. univ. de Genève Arch. T. 40. S. 105.
7549. SANG. *Experiments and observations on binocular vision.* Proc. of the Roy. Soc. of Edinburgh. VII. S. 433.

1872.

7550. J. LE CONTE. *Sur la transparence des images doubles.* Arch. d. sc. phys. (2.) XLV. S. 229—232.
7551. — *On some phenomena of binocular vision.* Americ. Journ. of Science and Arts Ser. II. Vol. 47. Ser. III. Vol. 1. 2.
7552. F. C. DONDERS. *De stereoskopische combinatie, na operatie van scheelzien, een argument tegen de empiristische theorie.* Onderz. ged. in het physiol. Lab. d. Utrecht'sche Hoogeschool. III. Reeks I. S. 83—91.
7553. DOR. *Quelques mots sur la vision binoculaire en réponse aux articles de Mm. Raoul Pictet et Joseph Le Conte.* Arch. d. Scienc. de la bibl. univ. May. 22 pp.
7554. L. MANDELSTAMM. *Beitrag zur Lehre von der Lage correspondirender Netzhautpunkte.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (2.) S. 133—141.
7555. R. PICTET. *Expériences et observations sur la vision binoculaire.* Mém. de St. Petersb. XVII. No. 11. S. 1—79.

1873.

7556. A. GENZMER. *Untersuchungen über die Sinneswahrnehmungen des neugeborenen Menschen.* Inaug.-Diss. Halle.
7557. v. HASNER. *Beiträge zur Physiologie und Pathologie des Auges.* Sinnenleben und Sehen. S. 1—15.
7558. — *Die reciproken Netzhäute und das Tiefensehen.* S. 40—57.
7559. J. JAGO. *Visible direction: being an elementary contribution to the study of monocular and binocular vision.* Proc. of the Roy. Soc. March 13. — Phil. Mag. XLVI. S. 80—84.
7560. KRENCHEL. *Ueber die krankhaft herabgesetzte Fusionsbreite als Ursache des Schielens.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 144—155.
7561. H. SCHOLER. *Zur Identitätsfrage. 1. Grenzen der Correspondenz beider Sehfelder. 2. Messung der Disparität an Schielenden und Entdeckung neuer Schielformen.* Graefe's Arch. XIX. (1.) S. 1—55.

1874.

7562. E. LANDOLT. *Le Chiastomètre.* Ann. d'Ocul. S. 3. — Klin. Monatsbl. XI. S. 470.
7563. F. D. A. VAN MOLL. *Over de normale incongruentie der netvliezen.* Vijftiende Versl. betr. het nederl. gasth. voor oogl. Utrecht. S. 79—121.

1875.

7564. J. LE CONTE. *On some phenomena of binocular vision.* Americ. Journ. of Science and Arts. 3. ser. Vol. IX. S. 159—171.
7565. F. C. DONDERS. *Die correspondirenden Netzhautmeridiane und die symmetrischen Rollbewegungen.* Arch. f. Ophthalm. XXI. 3. S. 100.
7566. — *De correspondeerende netvlies-meridianen en de symmetrische rolbewegingen.* Onderzoek. ged. in het Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogesch. Derde R. III. 2. S. 45.
7567. EMSMANN. *Zum binocularen Sehen.* Pogg. Ann. Bd. 156 S. 307—312.
7568. A. GRAEFE. *Motilitätsstörungen des Auges.* Graefe-Sämisch, Handbuch d. ges. Augenheilkde. Bd. VI. Cap. 9. Leipzig.
7569. F. D. A. VAN MOLL. *Over de normale incongruentie der netvliezen.* Onderzoek. ged. in het Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogesch. Derde R. III S. 39.
7570. H. SCHOLER. *Zur Behandlung Schielender (Einübung des binocularen Einfachsehens)* Allg. med. Centralztg. S. 842—844.

1876.

7571. W. v. BEZOLD. *Beiträge zur Geschichte der physiologischen Optik (Farbenkreisel und binoculares Sehen).* Pogg. Ann. Ergänzungsbd. VIII S. 510—515.
7572. J. HIRSCHBERG. *Notiz zur Theorie des Sehens.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXII. (4) S. 118—125.

7573. W. Schön. *Zur Lehre vom binocularen indirecten Sehen. I.* Graefe's Arch. f. Oph Bd. XXII. 4. S. 31—62.
7574. Überhorst. *Die Entstehung der Gesichtswahrnehmung.* Göttingen.

1877.

7575. H. Culbertson. *On a modified mode of detecting paralysis of the ocular m* Americ. Journ. of the med. Scienc. Jan.
7576. Féréol. *Association synergique des deux yeux persistant malgré la paralysi sixième paire d'un coté.* Gaz. des hôp. No. 90, 93, 98.
7577. Jaesche. *Ueber das binoculare Sehfeld.* Dorpat. Med. Zeitschr. VI. S. 35

1878.

7578. J. v. Kries. *Wettstreit der Sehrichtungen beim Divergenzschielen.* Arch. f. Oph XXIV. (4.) S. 117—138.
7579. W. Schön. *Zur Lehre vom binocularen Sehen. II.* Arch. f. Ophthalm. XXI S. 27 u. (4.) S. 47.
7580. Schwahn. *Ueber das Schielen nach Verletzungen in der Umgebung des Gehirns.* Eckardt's Beitr. z. Anat. u. Physiol. VIII. (3.) S. 149.
7581. J. G. Vogt. *Physiologisch-optisches Experiment, die Identität correspond Netzhautstellen, die mechanische Umkehrung der Netzhautbilder etc. endgültig er* Leipzig.

1879.

7582. A. Classen. *Wie orientiren wir uns im Raum durch den Gesichtssinn?* Jena. Preyer's Sammlung physiol. Abhandl. II. Heft 5.
7583. E. Hering. *Physiologie des Gesichtssinnes. Der Raumsinn und die Bewegung Auges.* Hermann's Handbuch der Physiol. III. (1.) S. 343.
7584. Jaesche. *Das räumliche Sehen.* Stuttgart. 130 S.
7585. L. Mauthner. *Ueber Incongruenz der Netzhäute.* Wien. med. Wochenschr. u. 12, 14 u. 15; auch separat.
7586. Rählmann. *Zur Frage von dem Einfluſs des Bewuſstseins auf die Coordinat Augenbewegungen und das Schielen.* Zehender's klin. Monatsbl. Jan. S. 1-
7587. A. Schlesinger. *Ueber das binoculare Sehen der Schielenden vor und na Operation.* XX. Jahresvers. d. ungar. Aerzte u. Naturf.
7588. L. Tortière. *Considérations sur la diplopie binoculaire.* Paris.

1880.

7589. Samelsohn. *Ein neuer Fall von Strabismus convergens concomitans intern* Centralbl. f. pract. Augenheilkde. IV. S. 117—119.
7590. H. Schmidt-Rimpler. *Zeitbestimmungen bezüglich der Fusion künstlich er Doppelbilder.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (1.)
7591. — *Bestimmungen der Zeit, welche zur Prismen-Ueberwindung im Intere Einfachsehens durch Schielen erforderlich ist.* Sitzgs.-B. d. Ges. z. Beförd. Naturw. z. Marburg. No. 6. August.

1881.

7592. T. Anderson. *A prismatic optometer.* Nature. XXIV. S. 618.
7593. E. v. Fleischl. *Physiologisch-optische Notizen. I.* Wiener Sitzungsber. I 3. Abth. 17. März 1881.
7594. E. Javal. *De la vision binoculaire.* Ann. d'Oculist. Bd. 85. 5/6. S. 217.
7595. J. Le Conte. *Sight, an exposition of the principles of monocular and binocular* N. Y. D. Appleton et Comp. 275 S.
7596. Rählmann. *Ueber die Veränderung der Fusionstendenz bei Veränderung der richtung und über die Augenstellung in den complicirten Secundärstellungen.* I über die Wirksamkeit der Univers.-Augenklinik zu Dorpat in dem Zeitraum bis 1881. S. 24.
7597. Oughton. *The theory of corresponding points in single vision.* Lancet. II.
7598. Samelsohn. *Darstellung eines Kranken zur Illustration der Frage von congruenz der Netzhäute.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 23.
7599. Schwahn. *Experimenteller Beitrag zur Lehre von den associirten Zwangsstel der Augen.* Eckhard's Beitr. z. Physiol. IX. S. 193.
7600. C. Schweigger. *Klinische Untersuchungen über das Schielen.* Berlin, Hirsch 152 S.

1882.

7601. A. Hogges. *Nervenmechanismus der associirten Augenbewegungen.* I. Theil: *Die Erscheinungen der die Bewegungen des Kopfes und Körpers begleitenden associirten Augenbewegungen bei Säugethieren und beim Menschen.* Mitth. der math.-naturw. Classe der ungar. Acad. d. Wissensch. Budapest 1881. Bd. X. No. 18. S. 32. — II. Theil: *Der Einfluſs einzelner Theile des Nervensystems auf die unwillkürlich associirten Augenbewegungen.* Ebenda. XI. No. 1. S. 1—100. (Ungarisch.)

7602. E. Javal. *Strabisme.* Nouveau Dictionn. de méd. et de chir. prat. XXXIII. S. 698.

7603. Schneller. *Beiträge zur Lehre vom Schielen.* Arch. f. Ophthalm. XXVIII. 2. S. 97.

7604. W. le Conte Stevens. *Notes on physiological optics.* V: *Vision by the light of the electric spark.* Amer. Journ. of Sc. XXIV. Okt.

1883.

7605. E. Landolt. *Sur l'ophthalmo-dynamomètre, présentation d'un instrument construit pour mesurer la convergence et l'accommodation.* Bull. et mém. de la Sc. franç. d'Ophth. S. 25.

7606. Pr. Smith. *A model illustrating conjugate movements of the eyes.* Lancet. II. S. 1092.

1884.

7607. Below. *Ueber die Bedingung des dynamischen Gleichgewichts der Augenmuskeln.* Westnik ophthalmolog. No. 4 u. 5.

7608. Berry. *The determination of the degree of latent and manifest squint in metre angles. — A suggestion.* Ophth. Rev. III. No. 33. S. 193.

7609. Ellaby. *De l'amplitude de convergence.* Thèse de Paris.

7610. Patton. *Notes on the metre angle.* Ophth. Rev. S. 360.

7611. Ulrich. *Der Sehact bei Strabismus convergens concomitans.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 45.

7612. W. v. Zehender. *Ein Vierspiegel-Apparat zur Bestimmung des Convergenzwinkels der Gesichtslinien.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 231.

1885.

7613. A. Graefe. *Beiträge zur Kenntniſs der bei Entwickelung und Hemmung strabotischer Ablenkungen wirksamen Einflüsse mit besonderer Berücksichtigung des Strabismus hyperopicus und der Asthenopia muscularis.* Arch. f. Ophth. XXXII. (2.) S. 223.

7614. J. Hirschberg. *Ueber Messung des Schielgrades.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IX. S. 325.

7615. E. Landolt. *L'amplitude de convergence.* Arch. d'ophthalm. S. 97 u. 178. — Bull. et mém. Soc. franç. d'ophthalm. III. S. 105.

7616. — *Ueber die Insufficienz des Convergenzvermögens.* Ber. über die 17. Vers. d. ophth. Ges. in Heidelberg. S. 5.

7617. G. Sous. *Instrument du Dr. Zehender, pour déterminer l'angle de convergence des axes visuels.* Rev. clin. d'ocul. V. S. 94.

7618. Stilling. *Ueber die Entstehung des Schielens.* Arch. f. Augenheilkde. XV. S. 73.

1886.

7619. E. Javal. *La théorie de la vision binoculaire élucidée par un cas de strabisme avec vision triple.* Ann. d'Oculist. Bd. 95. S. 206. — Bull. et mém. de la soc. franç. d'Ophthalm. IV. S. 33.

7620. E. Landolt. *On insufficiency of the power of convergence.* Ophth. Review. S. 185.

1887.

7621. Ch. Ladd-Franklin. *A method for the experimental determination of the horopter.* Americ. Journ. Psychol. I. S. 99.

7622. J. Le Conte. *On some phenomena of binocular vision.* Americ. Journ. of med. sc. New-Haven. S. 97.

7623. E. Landolt. *Uebersichtliche Zusammenstellung der Augenbewegungen im physiologischen und pathologischen Zustande.* Deutsch bearbeitet von H. Magnus. Breslau.

7624. J. Larmor. *On the form and position of the horopter.* Proc. Cambr. VI. S. 60—65.

7625. Stöber. *Pouvoir convergent binoculaire et angle métrique.* Semaine médic. No. 39. S. 378.

1888.

7626. A. Graefe. *Die Thatigkeit der geraden inneren Augenmuskeln bei den associirten Seiten- und den accommodativen Convergenzbewegungen der Augen.* Ber. d. 7. intern. Ophthalm.-Congr. zu Heidelberg. S. 30.

7627. E. Javal. *Le stéréoscope et le strabisme.* Arch. f. Ophthalm. VIII. S. 2
7628. E. Landolt. *Proposition sur le numérotage des prismes en ophthalmologie.* 7. intern. Ophth.-Congr. zu Heidelberg. S. 437.
7629. F. v. Martini. *Die Lage der Doppelbilder beim binocularen Sehen.* Mitt Thurg. naturf. Ges. Heft 8. S. 46.
7630. C. Reymond et J. Stilling. *Des rapports de l'accommodation avec la convergen l'origine du strabisme.* Straßburg, Trübner.
7631. Pr. Smith. *A tape measure for strabismus.* Ophthalm. Rev. S. 349.

**1889.**

7632. Benzler. *Ein Fall von essentieller Convergenzlähmung.* Deutsche Militärä Zeitschr. No. 7. S. 301.
7633. Crispo. *Notes sur des phénomènes de diplopie d'origine musculaire.* Arch. de norm. et pathol. S. 749—750.
7634. A. E. Fick. *Ueber die Faktoren der Sehachsenkonvergenz.* Correspbl. f. S Aerzte. 1889. XIX. S. 141.
7635. — *Ueber die Faktoren der Sehachsenkonvergenz. (Discussion.)* Correspon f. Schweizer Aerzte. XIX. S. 151.
7636. A. Graefe. *Ueber die Einstellung der Augen bei Unterbrechung des bino Sehens.* Mit 1 Holzschn. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. Abth. 1. bis 146.
7637. — *Noch einmal „Die Convergenzfactoren".* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Abth. 4. S. 333—339.
7638. J. H. Hyslop *On Some Facts of Binocular Vision.* Mind. XIV. S. 39
7639. E. Javal. *Sur le rétablissement de la vision binoculaire chez les strabiques.* Rend. de la Soc. de Biol. (9.) I. S. 596—600.
7640. Kalt. *Importance de la netteté des images rétiniennes pour la conservation vision binoculaire.* Compt. Rend. de la soc. de biol. Séance du 12. Octobre. S. 591.
7641. E. Landolt. *Antwort auf Prof. Graefe's Artikel: „Ueber die Einstellu Augen bei Unterbrechung des binocularen Sehens."* Graefe's Arch. f. Op XXXV. (3.) S. 265—272.
7642. J. Venn. *On Some Facts of Binocular Vision.* Mind. Vol. 14. S. 251—

**1890.**

7643. K. Hirschberger. *Binoculares Gesichtsfeld Schielender.* Münch. med. Woch No. 10.
7644. E. A. Jackson. *Unit of strength and system for numbering prisms.* Op Rev. No. 104. S. 169.
7645. M. L. Jays. *Mesure de la convergence dans la vision binoculaire. — Cho unité de convergence. — Série métrique des prismes usités en oculistique* d'Ophthalm. No. 9. S. 522.
7646. L. Kugel. *Ueber Exstinction der Netzhautbilder des schielenden Auges beim äugigen Sehen.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (1.) S. 66—128.
7647. E. Landolt. *Die rationelle Nummerirung der in der ophthalmologischen verwendeten Prismen.* Arch. f. Augenheilkde. XXII. S. 235.
7648. Lippincott. *New tests for binocular vision.* Americ. Journ. of Ophthalm. V No. 8. S. 247.
7649. J. Neumann. *Beitrag zur conjugirten Ablenkung der Augen.* Aus dem krankenhause zu Dresden. Berliner klin. Wochenschr. No. 18.
7650. F. Prentice. *Ein metrisches System zur Bezeichnung und Bestimmung von* Mit einleitenden Bemerkungen von Swan M. Burnett. Arch. f. Augen XXII. S. 215.
7651. Sachs. *Ueber die Ursachen des scheinbaren Näherstehens des unteren höhendistanten Doppelbildern. Nachtrag: Ueber das Verhalten der A beim Blicke nach aufwärts und abwärts.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. X (1.) S. 193—216.
7652. Schneller. *Beiträge zur Theorie des Schielens.* Graefe's Arch. f. Op XXXVI. (3.) S. 138.
7653. Tamagno. *Osservazione di paralisi di convergenza.* XII. Congr. dell' Asso Italiana. Pisa. — Ann. di Ottalm. XIX.

**1891.**

54. A. Graefe. *Ueber Fusionsbewegungen der Augen beim Prismaversuche.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVII. (1.) S. 243—257.
55. R. Greeff. *Untersuchungen über binoculares Sehen mit Anwendung des Hering'schen Fallversuches.* Zeitschr. f. Psych. III. S. 21.
56. C. Hess. *Bemerkung zu dem Aufsatze von Schneller „Beiträge zur Theorie des Schielens".* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVII. (1.) S. 258—260.
57. E. Javal. *De la vision binoculaire dans ses relations avec le strabisme.* Heidelb. Helmholtz-Festschr. S. 32—41.
58. van Millingen. *Les anomalies de la convergence.* Ann. d'ocul. T. CVI. S. 103.

**1892.**

59. L. Ferri. *Schéma de l'action physiologique des muscles de l'oeil et de la diplopie paralytique.* Ann. di Ottalmol. XXI.
60. Schneller. *Zur Lehre von den dem Zusammensehen mit beiden Augen dienenden Bewegungen.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 38. S. 71—117.
61. M. Tscherning. *La théorie du strabisme de Hansen-Grut.* Ann. de la Policl. de Paris.

**1893.**

62. Berry. *The innervation of the oculomotor muscles.* Ophth. Rev. S. 285.
63. A. B. Friedenwald. *Ueber die durch korrigirende Gläser hervorgerufene binoculare Metamorphopsie.* Arch. f. Augenheilkde. XXVI. S. 362.
64. Galezowski. *Du diploptomètre et de l'application de cet appareil pour définir la nature et le degré des paralysies oculaires.* Progrès méd. No. 11. S. 202.
65. E. Jackson. *The rod test with the rotatory variable prism.* Ophthalm. Rev. XII. S. 228.
66. — *Tests for heterophoria and their comparative value.* Univ. Med. Mag. Philad. S. 454. — Journ. Amer. med. Assoc. Chicago. XXI. S. 690.
67. F. Hillebrand. *Die Stabilität der Raumwerthe auf der Netzhaut.* Zeitschr. f. Psych. V. S. 1—60.
68. E. Landolt. *Tableau synoptique des mouvements des yeux et de leurs anomalies.* Paris.
69. — *Uebersichtliche Zusammenstellung der Augenbewegungen im physiologischen und pathologischen Zustande.* (Augenärztl. Unterrichtstaf.f. d. akad. u. Selbstunterr. Deutsch herausgegeben von H. Magnus. Heft 3.) Breslau, Kern. 2. Aufl.
70. Pickert. *Untersuchungen mittelst des Hering'schen Fallversuches.* Inaug.-Diss. Göttingen.
71. A. Roth. *Die Doppelbilder bei Augenmuskellähmungen in symmetrischer Anordnung.* 1 Tafel. Berlin, Hirschwald.
72. S. L. Ziegler. *Eine bequeme Prismenskala.* Ann. of Ophthalm. and Otol. Juli

**1894.**

73. Swan M. Burnett. *The new or dioptrical system of measuring and designating prisms employed in ophthalmic practice.* The Refractionist. Boston.
74. E. H. Grut. *Die Schieltheorien.* Arch. f. Augenheilkde. XXIX. 2. S. 69—98.
75. J. Hirschberg. *Eine Anmerkung über das regelmäßig abwechselnde Schielen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Juli. S. 193.
76. W. Schmiedt. *Ueber relative Fusionsbreite bei Hebung und Senkung der Blickebene.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIX. (4.) S. 233—256.
77. Stevens *Relation of the function of accommodation to that of convergence.* Transact. of the VII. internat. ophthalm. Congress, Edinburgh. S. 266.

— — — — —

# § 32.

## Wettstreit der Sehfelder.

**1743.**

7678. du Tour. Mem. de Paris. S. 334.

**1760.**

7679. du Tour. *Pourquoi un objet sur lequel nous fixons les yeux paroit-il unique?* 1
des savans étrangers. III.

**1772.**

7680. Janin. *Mémoires et observations sur l'oeil.* Lyon et Paris. S. 39.

**1776.**

7681. Janin. *Abhandlung über das Auge und seine Krankheiten.* Berlin. S. 38.

**1784.**

7682. J. Elliot. *Anfangsgründe derjenigen Theile der Naturlehre, welche mit der Ar*
*wissenschaft in Verbindung stehen.* Uebers. v. Bertram. Leipzig.

**1791.**

7683. W. C. Wells. *Essay upon single vision with two eyes.* London.

7684. Mönnich. *Untersuchung der Frage, ob man mit beiden Augen zugleich und g*
*deutlich sehe.* Dtsch. Abh. d. Berl. Acad. 1790—1791. S. 46.

**1798.**

7685. Walther. *Von der Einsaugung und Durchkreuzung der Sehnerven.* Berlin. 1
Dtsch. Abhandl. d. Berl. Acad. 1793. S. 3.

**1799.**

7686. L. A. v. Arnim. *Ueber scheinbare Verdoppelung der Gegenstände für das A*
Gilbert's Ann. III. S. 256.

**1806.**

7687. Ch. N. A. Haldat du Lys. *Sur la double vision.* Journ. de phys. LXIII. S.

**1814.**

7688. Ackermann und Herholt. *Sieht der Mensch mit einem Auge allein oder mit b*
*zugleich?* Kopenhagen.

**1826.**

7689. J. Müller. *Beiträge zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Lei
S. 191—194.

**1836.**

7690. A. W. Volkmann. *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichts.* Leipzig. S. 97

**1838.**

7691. C. Wheatstone. *Contributions to the physiology of vision.* Philos. Trans
S. 386—387.

7692. Völckers. *Ueber Farbenmischung in beiden Augen.* J. Müller's Arch. f. An
Physiol. S. 61 u. 63.

7693. A. W. Volkmann. *Ueber die Empfindung, welche entsteht, wenn verschiedenf*
*Lichtstrahlen auf identische Netzhautstellen fallen.* Müller's Arch. S. 373.

**1841.**

7694. H. W. Dove. Monatsber. d. Berl. Acad. S. 251.

**1846.**

7695. A. Seebeck. *Beiträge zur Physiologie des Gehör- und Gesichtssinns.* Pogg.
LXVIII. S. 449.

**1848.**

7696. E. Harless. *Physiologische Beobachtung und Experiment.* Nürnberg. S. 45.

**1849.**

7697. Foucault et Regnault. *Note sur quelques phénomènes de la vision au moye*
*deux yeux.* Compt. Rend. XXVIII. S. 78. — Philos. Mag. XXXIV. S. 26
Inst. XVII. No. 783.

7698. de Haldat. *Optique oculaire.* Nancy. — Arch. de sc. physiol. et nat. XII. S. 4
Inst. XVII. No. 786. S. 29

1850.

7699. H. W. Dove. *Ueber die Ursache des Glanzes und der Irradiation, abgeleitet aus chromatischen Versuchen mit dem Stereoskop.* Pogg. Ann. LXXXIII. S. 169. Berl. Monatsber. 1851. S. 252. Philos. Mag. (4.) IV. S. 241. Arch. d. sc. phys. et. nat. XXI. S. 209. Inst. No 991. S. 421.

7700. — *Ueber das Binocularsehen prismatischer Farben und eine neue stereoskopische Methode.* Pogg. Ann. LXXX. S. 446. Berl. Monatsber. S. 152. Arch. des sc. phys. et natur. XIX. S. 219.

7701. H. Meyer. *Ueber einen optischen Versuch.* Wien. Ber. VII. S. 454. Arch. d. sc. phys. et nat. XIX. S. 138.

1852.

7702. D. Brewster. *Examination of Dove's theory of lustre.* Athenäum. S. 1041. Cosmos. I. S. 577—578. Sill. Journ. (2.) XV. S. 125.

7703. H. Welker. *Ueber Irradiation und einige andere Erscheinungen des Sehens.* Giefsen. S. 107.

1853.

7704. E. Brücke. *Ueber die Wirkung complementär gefärbter Gläser beim binoculären Sehen.* Wien. Ber. XI. S. 213—216. — Pogg. Ann. XC. S. 606—609.

1854.

7705. F. Burckhardt. *Ueber Binocularsehen.* Verh. d. naturf. Ges. in Basel. I. S. 123—154.

7706. — *Zur Irradiation.* Verh. d. naturf. Ges. in Basel. I. S. 154—157.

7707. J. J. Oppel. *Ueber die Entstehung des Glanzes bei zweifarbigen, insbesondere bei schwarzen und weifsen stereoskopischen Bildern.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1853 bis 54. S. 52—55. und 1854—55. S. 33—37.

1855.

7708. D. Brewster. *On the binocular vision of surfaces of different colours.* Athenäum. S. 1120. — Inst. S. 375. — Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 9.

7709. H. W. Dove. *Ueber die von ihm gegebene Erklärung des Glanzes.* Berl. Monatsber. S. 691—694. Inst. 1856. S. 118—119.

1856.

7710. H. Helmholtz. *Ueber die Erklärung der stereoskopischen Erscheinung des Glanzes.* Verh. d. naturhist. Ver. d. Rheinlande. S. XXXVIII—XL.

7711. H. Meyer. *Ueber den Einflufs der Aufmerksamkeit auf die Bildung des Gesichtsfeldes überhaupt und die Bildung des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes beider Augen im Besonderen.* Arch. f. Ophthalm. II. 2. S. 77—92.

1857.

7712. H. W. Dove. *Ueber Binocularsehen durch verschieden gefärbte Gläser.* Berl. Monatsber. S. 208—211. — Pogg. Ann. CI. S. 147—151.

7713. J. J. Oppel. *Bemerkungen zur Stereoskopie und insbesondere zur Erklärung des Glanzes zweifarbiger Bilder.* Pogg. Ann. Bd. 100. S. 462.

7714. A. Paalzow. *Ueber subjective Farben und die Entstehung des Glanzes.* Berl. Monatsber. S. 435.

1858.

7715. J. Dingle. *On a new law of binocular vision.* Athenäum. II. S. 458.

7716. J. J. Oppel. *Ueber das „Glitzern", eine eigenthümliche Art des Glanzes und die stereoskopische Nachahmung desselben.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1856—1857. S. 56—62.

7717. P. L. Panum. *Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen.* Kiel. S. 38—42.

1860.

7718. G. Th. Fechner. *Ueber einige Verhältnisse des binocularen Sehens.* Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. VII. S. 337—564.

7719. F. Zöllner. *Ueber eine neue Beziehung der Retina zu den Bewegungen der Iris.* Pogg. Ann. CXI. S. 481—499, 660.

7720. H. W. Dove. *Optische Notizen.* Pogg. Ann. CX. S. 286—288.

7721. Rogers. *On our inability from the retinal impression alone to determine which retina is impressed.* Proc. of the Amer. Assoc. S. 192.

1861.

7722. E. Brücke. *Ueber den Metallglanz.* Wien. Ber. XLIII. (2.) S. 177—192.

7723. D. Brewster. *On binocular lustre.* Athenäum. 2. S. 411. Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 29—31.

7724. O. N. ROOD. *Upon some experiments connected with Dove's theory of l* Sill. Journ. (2.) XXXI. S. 339—345. Philos. Mag. (4.) XXII. S. 38—45.
7725. H. W. DOVE. *Ueber den Glanz.* Berl. Monatsber. S. 522—525.
7726. — *Ueber Binocularsehen und subjective Farben.* Pogg. Ann. Bd. 114. S. 165–
7727. P. L. PANUM. *Ueber die einheitliche Verschmelzung verschiedenartiger Netz eindrücke beim Sehen mit zwei Augen.* Reichert's und Du Bois-Reymond's f. Anat. und Physiol. S. 63—227.

1862.

7728. W. WUNDT. *Ueber die Entstehung des Glanzes.* Pogg. Ann. CXVI. S. 627–
7729. O. N. ROOD. *On some stereoscopic experiments.* Silliman Journ. (2.) XX S. 199—202.
7730. G. TH. FECHNER. *Ueber den seitlichen Fenster- und Kerzenversuch.* Leipziger S. 27—56.
7731. W. WUNDT. *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* Leipzig und Heidel S. 299—375.

1864.

7732. E. HERING. *Beiträge zur Physiologie.* 5. Heft. Leipzig. S. 312—316.

1865.

7733. E. JAVAL. *De la neutralisation dans l'acte de la vision.* Ann. d'Oculist. S. 5—16.
7734. W. v. BEZOLD. *Ueber binoculares Sehen.* Zeitschr. f. Biol. I. S. 237—262.
7735. O. N. ROOD. *On the combination which takes place when light of different ti presented to te right and left eye.* Sill. Journ. (2.) XXXIX. S. 254—259.
7736. — *Description of a simple apparatus for producing lustre without the u lustrous surfaces or of the stereoscope.* Sill. Journ. (2.) XXXIX. S. 260.

1866.

7737. W. v. BEZOLD. *Ueber binoculares Sehen.* (Nachtrag.) Zeitschr. f. Biol. II. S bis 188.

1867.

7738. W. v. BEZOLD. *Ueber binoculares Sehen.* Pogg. Ann. Bd. 130. S. 424—433.

1870.

7739. M. WOINOW. *Ueber den Wettstreit der Sehfelder.* Arch. f. Ophthalm. XVI S. 194—199.

1871.

7740. TH. WARD. *Optical Phenomenon.* Nature. IV. S. 68.

1874.

7741. W. v. BEZOLD. *Ueber binoculare Farbenmischung.* Pogg. Ann. Jubelband. S. 585–
7742. W. SCHÖN und A. MOSSO. *Eine Beobachtung, betreffend den Wettstreit der Sehf* Arch. f. Ophthalm. XX. (2.) S. 269.

1875.

7743. W. DOBROWOLSKY. *Ueber binoculare Farbenmischung.* Pflüger's Arch. X. S. 56
7744. S. EXNER. *Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Pr* IV. Abh.: *Die Empfindungszonen des Sehnervenapparates.* Pflüger's Arch S. 581—602.
7745. W. SCHÖN. *Zum Wettstreit der Sehfelder.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 356—358.

1876.

7746. NIPHER. *Optical experiments.* Nature. XIV. S. 308.

1877.

7747. A. CHODIN. *Ueber die Abhängigkeit der Farbenempfindungen von der Licht* Preyer's Samml. Physiol. Abhandl. Erste Reihe. 7. Heft. Jena, Dufft. S. 4

1879.

7748. KLEINER. *Physiologisch-optische Beobachtungen.* III. *Wettstreit der Seh* Pflüger's Arch. XVIII. S. 542—573.

1882.

7749. J. GORHAM. *On the blending of colours by the sole agency of the sensorium.* I IV. S. 467.

1889.

7750. D. AXENFELD *Notes physiologiques. (Un phénomène de contraste binoculaire.)* Ital. de Biol. XII. S. 28.

**1891.**

51. A. Chauveau. *Sur la fusion des sensations chromatiques perçues isolément par chacun des deux yeux.* Compt. Rend. CXIII. S. 358—362. — Progr. med. No. 38.
52. — *Sur la théorie de l'antagonisme des champs visuels.* Compt. Rend. Bd. 113. Nov. 15. S. 439—442.

---

## § 33.

# Kritik der Theorien.

Hinsichtlich weiterer Litteratur muß auf die Zusammenstellungen in den entsprechenden philosophischen Werken verwiesen werden; ferner ist die Litteratur von § 26 zu beachten.

**1838.**

53. H. Erpenbeck. *Ueber das Recht-Sehen trotz des umgekehrten Sehbildes auf der Retina.*

**1846.**

54. Th. Waitz. *Grundlegung der Psychologie.* Hamburg.

**1849.**

55. Th. Waitz. *Lehrbuch der Psychologie als Naturwissenschaft.* Braunschweig.

**1852.**

56. H. Lotze. *Medicinische Psychologie.* Leipzig.

**1854.**

57. G. Meissner. *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans.* 1854.

**1855.**

58. A. Bain. *The senses and the intellect.*
59. H. Helmholtz. *Ueber das Sehen des Menschen.* Ein populär wissenschaftlicher Vortrag. Leipzig, L. Voss.
60. H. Spencer. *Principles of psychology.* London. 2 Vol.

**1858.**

61. C. G. P. Langenhaun. *Quid sit, quod objecta, inversa in retina imagine, sensu recta percipiantur, disseritur.*
62. P. L. Panum. *Ueber das Sehen mit zwei Augen.* Kiel.

**1859.**

63. A. Kussmaul. *Untersuchungen über das Seelenleben des neugeborenen Menschen.*
64. Überweg. *Zur Theorie der Richtung des Sehens.* Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rat. Med. 3. R. Bd. 5 S. 274.

**1860.**

65. G. Th. Fechner. *Elemente der Psychophysik.* 2 Bde. Leipzig.

**1861.**

66. Cornelius. *Die Theorie des Sehens und räumlichen Vorstellens vom physikalischen, physiologischen und psychologischen Standpunkt.* Halle.
67. A. Nagel. *Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen Netzhautstellen.* Leipzig u. Heidelberg.

**1862.**

68. W. Wundt. *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* Leipzig u. Heidelberg.

**1863.**

69. A. Classen. *Das Schlußverfahren des Sehactes.* Rostock.

**1864.**

70. Abbot. *Light and touch.*
71. A. Bain. *The senses and the intellect.* 2. ed.
72. Cornelius. *Zur Theorie des Sehens.* Halle.

1881.

00. H. Schmidt-Rimpler. *Zur empiristischen Theorie des Sehens.* Sitzgs.-Ber. d. naturwiss. Ges. in Marburg. S. 41.

01. Fr. Schultze. *Philosophie der Naturwissenschaft.* 2 Theile. Leipzig.

1882.

02. H. Schmidt-Rimpler. *Zur empiristischen Theorie des Sehens.* Neurol. Centralbl. 1. S. 59.

1883.

03. Th. Lipps. *Grundthatsachen des Seelenlebens.* Bonn. 708 S.

1885.

04. B. Kerry. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung.* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XI. S. 433—493.

05. Th. Lipps. *Psychologische Studien. (1. Der Raum der Gesichtswahrnehmung.)* Heidelberg, Weiss. 161 S.

1886.

06. B. Kerry. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung.* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. X. S. 419—467.

07. E. Mach. *Beiträge zur Analyse der Empfindungen.* Jena, Fischer. 168 S.

1887.

08. B. Kerry. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung.* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XI. S. 53—116, 249—307.

1888.

09. Ch. Dunan. *L'espace visuelle et l'espace tactile.* Rev. philos. XIII. 2. S. 184.

10. J. H. Hyslop. *On Wundt's theory of psychic synthesis in vision.* Mind. XIII. S. 499.

11. L. de la Rive. *Sur la composition des sensations et la formation de la notion de l'espace.* Basel. H. Gevre.

1889.

12. A. Classen. *Physiologie des Gesichtssinnes, zum ersten Mal begründet auf Kant's Theorie der Erfahrung.* Braunschweig, Vieweg.

13. B. Kerry. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung.* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XIII. S. 71—124, 392—419.

14. L. de la Rive. *Sur la génèse de la notion d'espace.* Rev. philos. XIV. Jahrg. Bd. 27. S. 452—462. Rep. britt. assoc. 1888. S. 585.

1890.

15. W. James. *The principles of psychology.* London.

16. B. Kerry. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung.* Vierteljahrsschr f. wiss. Philos. XIV. S. 317—353.

17. A. Kopcke. *Ueber empirische und idealisirende Raumauffassung.* Progr. Altona Ottensen. 10 S.

18. H. Spencer. *Our Space-Consciousness: A. Reply.* Mind. XV. S. 305—324.

1891.

19. C. S. Cornelius. *Zur Theorie des räumlichen Vorstellens mit Rücksicht auf eine Nachbildlokalisation.* Zeitschr. f. Psychol. II. S. 64—179.

20. E. L. Fischer. *Theorie der Gesichtswahrnehmung.* Mainz, Kirchheim 392 S.

21. J. H. Hyslop. *Helmholtz' theory of space-perception.* Mind. XVI. S. 54—79.

22. B. Kerry. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung.* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XV. S. 127—167.

23. H. Munk. *Sehsphäre und Raumvorstellungen.* Intern. Beitr. z. wissensch. Med. (Virchow-Festschr.). Bd. I. S. 355—366. Berlin, Hirschwald.

24. J. Onanoff. *Origine de la vision droite.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (9). III. 12. S. 233—236.

25. Rudzki. *Ueber ein angeborenes Gefuhl der Cardinalrichtungen des Horizonts.* Biol. Centralbl. XI. No. 2. S. 63.

1892.

26. A. Farges. *La critique de Kant sur l'espace et le temps.* Ann. de Philos. Chrét (N. S.) Bd. 26, 5. S. 456—475.

27. G. Hirth. *Das plastische Sehen als Rindenzwang.* München. G. Hirth's Verlag. 80 S. m. 50 Textillustr. u. 34 Taf. m. stereoskop. Abbild.

7828. Th. Lipps. *Die Raumanschauungen und die Augenbewegungen.* Zeit
III. S. 123—171.
7829. A. Stöhr. *Zur nativistischen Behandlung des Tiefensehens.* Wien, ]
7830. W. Wundt. *Vorlesungen über die Menschen- und Thierseele.* 2. Aufl.
Leipzig.

**1893.**

7831. M. Glossner. *Die Theorie der Gesichtswahrnehmung und der kri*
*E. L. Fischer's.* Jahrb. f. Philos. u. specul. Theol. VII. S. 32(

**1894.**

7832. J. H. Hyslop. *Experiments in space perception.* Psychol. Rev. I.
7833. J. Krassnig. *Die Zeit- und Raumvorstellung, eine psychologische*
Nikolsburg. 39 S.

# Autorenregister zur Litteraturübersicht.

m erschienene Abhandlungen sind mit den Anfangsworten ihres Titels in die alphabetische Reihenfolge eingeordnet.

---

## C.

## E.



## F.

## G.

## H.

## I.

## J.



## K.

## M.

## Q.



## R.

## T.

**W.**

## Y.



## Z.

